



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA TRAMO DE 6.67 KM DE
CARRETERA MIRALAGOS-CUYALÍ.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Juan Pablo Gómez Polanco
Br. Francisco Javier Ruiz Maleaños.

Tutor

Ing. Israel Morales

Managua, Noviembre 2015

Managua, Nicaragua
Septiembre 02 de 2015

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano de la F.T.C
Su Despacho

Estimado Dr. Gutiérrez

Me es grato dirigirme a usted, en ocasión de comunicarle que después de haber revisado el trabajo de Tesina titulado **"Diseño de Pavimento Flexible para el tramo de 6.67 Km de carretera Miralagos - Cuyalí, por el Método Asshto-93"** realizado por los *Bachilleres Juan Pablo Gómez Polanco y Francisco Javier Ruiz Maleaños*. He concluido que el documento cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados y doy mi aprobación para su presentación y defensa, confiando que los sustentantes serán capaces de defender con seguridad el trabajo realizado.

Atentamente,



Ing. Israel Morales
Departamento de Construcción

Tutor

Cc. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.01102
Managua, diciembre 05 de 2014.

Bachilleres
JUAN PABLO GOMEZ POLANCO
FRANCISCO JAVIER RUIZ MALEAÑOS
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado "**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA TRAMO DE 6.67 KM DE CARRETERA A MIRALAGOS – CUYALI, POR EL METODO AASHTO-93I**". Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo de que el Ing. ISRAEL MORALES, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 05 de marzo de 2015.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,


Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano



CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 380
Managua, junio 15 del 2015.

Bachilleres
JUAN PABLO GOMEZ POLANCO
FRANCISCO JAVIER RUIZ MALEAÑOS
Presente

Estimados Bachilleres:

En atención a su carta de solicitud de PRORROGA, para finalizar su trabajo de Tesina titulado "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA TRAMO DE 6.67 KM DE CARRETERA MIRALAGOS-CUYALI, POR EL METODO AASHTO-93". Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberán presentar concluida su Tesina debidamente revisada por el tutor guía el 28 de agosto del 2015.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,

DR. ING. OSCAR CORTIERREZ SOMARRIBA
Decano



CC: Tutor
Archivo-Consecutivo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE
CULMINACION DE ESTUDIOS**

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Juan Pablo Gómez Polanco. 2) Francisco Javier Ruiz Maleaños.
NOMBRE DEL CURSO: OBRAS VIALES
NOMBRE DE LA TESINA: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL TRAMO DE 6.67 KM DE CARRETERA MIRALAGOS – CUYALI, POR ELMETEDO AASHO-93.
ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA: 1) ESTUDIO DE TRANSITO 2) ESTUDIO DE SUELOS 3) DISEÑO DE PAVIMENTO
FECHA DE DEFENSA:
VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA: EL TRABAJO CUMPLE CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.
JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA: 1) 2) 3)
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR -----
CC: Archivo

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios nuestro Señor Jesucristo por haberme dado vida, salud, fuerzas, sabiduría y trabajo para poder subsistir y enfrentar los afanes de esta vida.

A mis padres, José Dolores Gómez y Doris Polanco Duarte por haberme formado e inculcado el estudio para llegar a ser un profesional y tener un futuro mejor.

A mi tía Sor Mercedes Polanco Duarte por su apoyo incondicional, quien estuvo pendiente siempre de mis estudios.

Juan Pablo Gómez Polanco.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco al Señor Jesucristo por haberme enseñado a vencer todas las barreras y obstáculos que se presentan en el camino, dándome al final la victoria de poder culminar este trabajo.

Le doy gracias a todos los docentes de la Universidad que fueron mis maestros, los cuales me enseñaron y formaron para ser un buen profesional.

Gracias al Ing. Israel Morales por ser mi tutor de tesis, ayudándome a culminar mis estudios.

Gracias al Ing. Danny Moncada por haberme asesorado en la realización de esta tesis.

Juan Pablo Gómez Polanco.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo y la culminación de mi carrera profesional se los quiero agradecer a todas las personas que a lo largo de mi vida y en etapas importantes estuvieron y están conmigo para apoyarme.

Todo el amor, el apoyo, paciencia, las desveladas, y los esfuerzos para conseguir lo que necesite durante la parte académica de mi carrera se los agradezco y dedico a esos seres maravillosos que me brindaron la vida:

Mi madre María de los Santos Maleaños Mesa, que cada día me dio su gran amor, comprensión y apoyo, por haberme guiado y aconsejado siempre por el buen camino, quien pese a todas las adversidades siempre me ha impulsado a concluir mis cometidos, muchísimas gracias y aunque no lo digo siempre Te Amo inmensamente mamá.

De la misma forma no puedo dejar de mencionar a esas personas que me brindaron toda su experiencia, tiempo y dedicación, los cuales son uno de los pilares principales en la formación de todo profesional y que sin ellos el camino se hace difícil a través del conocimiento, a mis profesores, que a lo largo de mi camino académico, pero el objetivo de todos y cada uno de ellos lo veo recompensado en esta etapa de mi vida. En especial a mi asesor el Ingeniero Israel Morales, Gracias Maestro.

A mis amigos(as), quienes han estado allí para apoyarme y corregirme en mis decisiones y a la vez darme aliento en los momentos más difíciles, les agradezco su amistad, y también me llevo un grandísimo recuerdo, pero más que un recuerdo me llevo la hermandad que nos une y espero mantener esa amistad a lo largo de nuestras vidas.

Por consiguiente agradezco a los Ingenieros: Danny Moncada Ramírez y Luisa Amanda Jiménez quienes me asesoraron en mi tesis. Muchísimas Gracias.

Francisco Javier Ruiz Maleaños.

INDICE

CONTENIDO	Pag.
CAPITULO I: GENERALIDADES	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Localización.....	3
1.3.1. Macrolocalizacion.....	3
1.3.2. Microlocalizacion	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO	
2.1. Conceptos Generales.....	7
2.1.1. Conteo Vehicular.....	7
2.1.2. Clasificación del Tránsito.....	7
2.1.3. Proyección de Tránsito.....	8
2.1.4. Tránsito de diseño.....	8
2.1.5. Factor de crecimiento.....	8
2.1.6. Factor carril.....	8

2.1.7.	Factor direccional.....	9
2.1.8.	Tránsito Promedio Diario (TPD).....	9
2.1.9.	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	9
2.1.10.	Cargas equivalentes.....	9
2.2.	Estudio de Tránsito del tramo.....	10
2.2.1.	Conteo Vehicular.....	10
2.2.2.	Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual TPDA.....	11
2.2.2.1.	Factores de ajustes.....	11
2.2.2.2.	Factor Día.....	11
2.2.2.3.	Factor Semana.....	11
2.2.2.4.	Factor de Expansión.....	11
2.2.3.	Proyección del tránsito.....	14
2.2.3.1.	Tasa de crecimiento del país (PIB).....	14
2.2.3.2.	Tasa de crecimiento poblacional.....	15
2.2.3.3.	Tasa de crecimiento vehicular.....	16
2.2.3.4.	Tasa de crecimiento del Proyecto.....	16
2.2.3.5.	Periodo de Diseño.....	19
2.2.3.6.	Cálculo de la proyección del Tránsito.....	20
2.2.3.7.	Factor de crecimiento.....	21
2.2.3.8.	Factor direccional.....	21
2.2.3.9.	Factor carril.....	21

2.2.3.10. Tránsito de diseño.....	22
-----------------------------------	----

CAPITULO 3: ESTUDIO DE SUELOS

3.1. Conceptos Generales.....	23
3.1.1. Sub-rasante.....	23
3.1.2. Ensayes de laboratorio.....	23
3.1.3. Análisis Granulométrico.....	23
3.1.4. Límite Líquido.....	23
3.1.5. Límite Plástico.....	23
3.1.6. Índice de plasticidad.....	24
3.1.7. Contenido de Humedad.....	24
3.1.8. Peso específico.....	24
3.1.9. Ensayo de compactación.....	24
3.1.10 Densidad Máxima.....	25
3.1.11. Contenido Optimo de Humedad.....	25
3.1.12. Determinación de la resistencia de los Suelos.....	25
3.1.13. Clasificación de los Suelos.....	25
3.2. Estudio geotécnico del proyecto.....	27
3.2.1. Trabajos de campo y laboratorio.....	27
3.2.1.2 Sondeos Manuales Sobre la Línea.....	27
3.2.2. Resultados de los Ensayos sobre la línea.....	27

3.2.3.	Sondeos de los Bancos de Préstamo.....	29
3.2.3.1.	Característica de los Bancos de Préstamos.....	29

CAPITULO IV: DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE

4.1.	Conceptos.....	32
4.1.1.	Pavimento.....	32
4.1.2.	Variables de Diseño.....	33
4.1.2.1.	El Tránsito.....	33
4.1.2.2.	Confiabilidad.....	34
4.1.2.3.	Desviación estándar.....	34
4.1.2.4.	Serviciabilidad (ΔPSI).....	35
4.2.	Propiedades de los Materiales.....	35
4.2.1.	Superficie de Rodamiento (Carpeta Asfáltica).....	35
4.2.1.1.	Estabilidad de Marshall.....	35
4.2.1.2.	Coeficiente Estructural (a_1).....	36
4.2.2.	Base.....	36
4.2.2.1.	CBR de la Base.....	36
4.2.2.2.	Coeficiente Estructural (a_2).....	36
4.2.2.3.	Módulo de Resiliencia.....	37
4.2.3.	Sub base.....	37
4.2.3.1.	CBR de la Sub Base.....	37
4.2.3.2.	Coeficiente Estructural (a_3).....	37

4.2.3.3.	Módulo de Resiliencia.....	37
4.2.4.	Subrasante.....	38
4.2.4.1.	CBR de Diseño.....	38
4.2.4.2.	Módulo resiliente (caracterización del material de subrasante).....	39
4.3.	Determinación del número estructural (SN).....	40
4.3.1.	Ecuación de diseño.....	40
4.3.2.	Nomograma.....	41
4.4.	Coeficiente de Drenaje.....	42
4.5.	Espesores de Diseño de pavimento.....	42
4.6.	Calculos del diseño.....	43

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	45
5.1.1	Espesores Finales.....	45
5.1.2	Estudio de Tránsito.....	45
5.1.3	Estudio de suelos.....	46
5.1.3.1	Banco de material.....	46
5.2.	Recomendaciones.....	46
5.2.1.	Capa de rodamiento.....	46
5.2.2.	Sub-Rasante.....	47
5.2.3.	Base.....	47

5. 2.4. Transito y Mantenimiento.....	47
Bibliografia	48

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS.

Figura 7	Tipología y descripción vehicular de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico y evaluación de pavimentos y puentes	50
Figura 8	Diagrama de cargas permisible.....	52
Figura 9	Perfil Estratigráfico sobre la línea central de la carretera.....	58-63
Figura 10	Resultados de Ensayes del Banco Santa Rosa.....	64
Figura 11	Resultados de Ensayes del Banco San José de la Montaña.....	65
Figura 12	Ubicación de banco de material a lo largo de la línea.....	67
Figura 13	Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_1 para la carpeta asfáltica y Módulo de Resiliencia.....	72
Figura 14	Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_2 para la capa base material granular y Módulo de Resiliencia.....	73
Figura 15	Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_3 para una capa sub-base material granular	74
Figura 16	Nomograma para calcular SN.....	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 18	IRI.....	49
Tabla 19	Cargas permisibles.....	51
Tabla 20	Diferentes tasas de crecimiento para las Estaciones de Mayor Cobertura	53

Tabla 21	Clasificación de Suelos Sistema AASHTO	54
Tabla 22	Estratigrafía sobre eje central de carretera.....	55-57
Tabla 23	Clasificación de los Materiales para el análisis del CBR.....	66
Tabla 24	Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para..... . pavimento Flexible, ejes Sencillo.	68
Tabla 25	Factores de ejes estándar equivalentes de carga para pavimento flexible, ejes dobles	69
Tabla 26	Niveles de Confiabilidad.....	70
Tabla 27	Rangos Desviación Estándar.....	70
Tabla 28	Estabilidad de Marshall.....	70
Tabla 29	Clasificación según CBR.....	71
Tabla 30	Coeficiente de Drenaje para pavimentos Flexibles.....	76
Tabla 31	Espesores mínimos de concreto Asfáltico y Base Granular.....	76
Tabla 32	Margenes del Valor Meta para Graduación de Sub-base..... . Base o capas superficiales de Agregados.	77

RESUMEN EJECUTIVO

Resumen Ejecutivo:

El presente estudio consiste en el diseño de 6.67 km de estructura de pavimento flexible para el tramo de carretera Miralagos-Cuyalí, ubicado en el departamento de Jinotega, por el método de la Asociación Americana Oficial de Transportes y Carreteras AASHTO-93 (American Association of State Highway and transportation Officials), de los cuales abarca cinco capítulos: Generalidades, Estudio de Tránsito, Estudio de Suelo y Diseño de Espesores de Pavimento Flexible, Conclusiones y Recomendaciones.

En el Capítulo 1: Generalidades, se describe aspectos básicos del proyecto tales como, introducción, antecedentes, localización, justificación, objetivos generales y objetivos específicos.

Capítulo 2: Estudio de tránsito, son realizados con el objetivo de obtener información relacionada con el movimiento vehicular sobre puntos específicos; además es necesario para determinar el número ESAL, mediante la clasificación del tipo de vehículos de acuerdo a sus ejes, proyección del tránsito, tasas de crecimiento, periodo de diseño, tránsito inicial en el año base, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril y período de diseño.

Capítulo 3: Estudio de suelo, consiste en conocer las características físico-mecánicas del sub suelo a lo largo de la línea del tramo en estudio y de los bancos de materiales, dichos estudios proporcionados por el MTI, en los cuales se determina la granulometría, CBR, índices de plasticidad de los tipos de suelos.

Capítulo 4: Diseño de espesores de Pavimento Flexible, se diseña en base a los ejes equivalentes para el periodo de diseño, además se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño, tales como confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño el cual servirá como base para determinar el Modulo de Resiliencia y el valor de los coeficientes estructurales.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones, se establecen el presente estudio en base a los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. Introducción.

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de desplazamiento de viajeros y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo

La construcción de carreteras contribuye al desarrollo socio económico del país, ya que permite el acceso a los principales centros comerciales, centros de salud para atención médica de la población, a los centros de estudio a todos los niveles; así mismo genera empleos a gran cantidad de ciudadanos, con esta construcción se logra minimizar el tiempo de ejecución de cualquier actividad, el desplazamiento es más cómodo, se logra proteger la vida útil de cualquier automotor.

El Gobierno de Nicaragua, para contribuir al desarrollo en la región norte del país, ha decidido realizar el mejoramiento de la Carretera Miralagos – Cuyalí de 6.76 km de longitud, a fin de permitir el acceso directo a los centros con un alto potencial de producción agropecuario, entre los rubros importantes de la zona tenemos el café y la ganadería, de esta manera impulsa el desarrollo socio económico de la zona.

La presente tesina de investigación consiste en el diseño de la estructura de pavimento flexible del tramo de carretera Miralagos-Cuyalí de 6.67 Km de longitud.

El tramo en estudio Miralagos-Cuyalí se encuentra localizado en el municipio y departamento de Jinotega, a 15 km de distancia de la cabecera municipal.

Tiene su origen en Miralagos, específicamente en el caserío de Santa Clara, al final de la carretera pavimentada, pasando por las comarcas Lipululo, Los Robles, San Pedro de Buculmay y finaliza en Cuyalí, con una longitud de 6.67 km.

La investigación aborda análisis de estudios de suelos, de tránsito y el diseño de pavimento flexible.

1.2. Antecedentes

De acuerdo a la clasificación funcional de carreteras del **MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura)**, la carretera en estudio se clasifica como Colectora Rural y se identifica como parte de la NIC-43. El terreno predominante va de ondulado a montañoso con pendientes entre el 8% y 17%. La sección de derecho de vía está limitada por las cercas existentes que varía entre 17 y 22 metros de ancho y el ancho de rodamiento varía entre 6 a 8 metros.

La superficie de rodamiento es de material granular, la cual se encuentra en mal estado, los daños más visibles son baches, huellas en formas de surcos y erosiones de talud. El estado de deterioro de la carretera dificulta a los productores sacar sus cosechas para poder comercializarlas en los mercados locales o para llevarlos a los centros de acopio, lo cual indudablemente les produce pérdidas.

El drenaje transversal está conformado por alcantarillas de concreto reforzado con diámetros variables entre 30" a 72", sin embargo estas se encuentran en mal estado o son hidráulicamente ineficientes.

Carece de señalización adecuada y de infraestructura peatonal. Para el año 2011 de acuerdo a información oficial brindada por la División de Administración Vial del Ministerio de Transporte e Infraestructura presenta un IRI de 14.1 m/km, lo que corresponde a la condición de mal estado (Ver Tabla 18 en Anexos).

1.3. Localización

El Tramo de carretera se ubica en la comunidad de Miralagos aproximadamente en el Km. 176+500 y finaliza en el empalme de Cuyalí, en el Km. 183+170 de la NIC-43 (Ver figura N°1 y N°2).

1.3.1- Macro Localización



Figura N°1

Fuente: Elaboración propia, Programa ArcGis 10.1

1.3.2- Microlocalización.

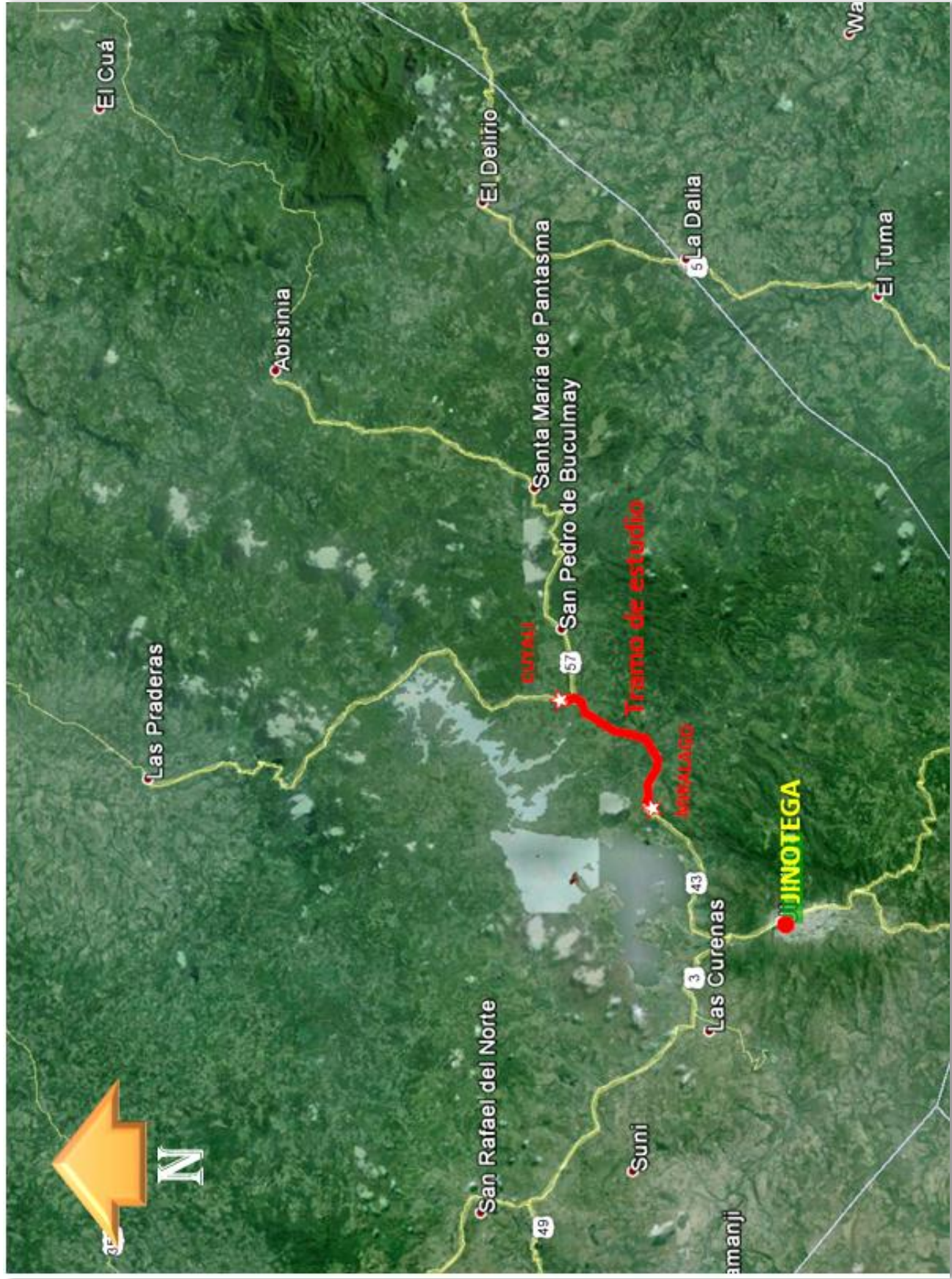


Figura N°2. Fuente: Elaboración propia, programa Google Earth.

1.4. Justificación

La agricultura y la ganadería son las principales actividades económicas de la zona. Hay un sector agrícola importante, el café, producto que se comercializa dentro y fuera del país, y un sector de productores que se dedican a la siembra de granos básicos, los cuales principalmente son comercializados en las propias comunidades y en la ciudad de Managua.

Entre las comunidades localizadas en el área de influencia directa del tramo están: Las Trincheras, Llano La Cruz, Santa Clara, Lipululo, Pueblo Nuevo, Los Robles y Cuyalí, así también se considera a todo el municipio de Jinotega, incluyendo zonas urbanas y rurales como área de influencia indirecta.

Con el mejoramiento de la carretera Miralagos – Cuyalí de 6.67 Km, se reducirán los niveles de pobreza de la población beneficiada y generará empleos durante la ejecución del proyecto.

Se mejorará la red vial de la región de tal manera que se promueva y garantice la salida de la producción agropecuaria y el acceso a las comunidades aledañas al proyecto, contribuyendo de esta manera a promover y fortalecer el desarrollo socioeconómico de la zona de influencia.

Permitirá que la población asentada en todo el tramo tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando el nivel de vida de la población, posibilitando la apertura de nuevos centros de empleo y mayores posibilidades de intercambiar y comercializar sus productos con las principales ciudades del país, reduciendo las pérdidas a los productores por el mal estado de la carretera.

Se reducirán los costos de viaje en que incurren actualmente los usuarios de la misma, garantizando la transitabilidad en la zona dado que esta carretera une a Jinotega con los municipios de Pantasma, Wiwilí y el Cuá.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar los espesores de la estructura de pavimento flexible para el tramo de 6.67 km de carretera Miralagos - Cuyalí, por el método AASHTO – 93.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Conocer las características físico-mecánicas del subsuelo a lo largo del tramo y de los bancos de materiales aledaños a la zona, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio realizados.
- Analizar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo en estudio para el año base y proyectarlo para la vida útil del proyecto.
- Determinar espesores de la estructura del pavimento tomando en cuenta las características mecánicas del suelo a lo largo de la línea y de los bancos de materiales, así como el tránsito de diseño.

CAPITULO 2

ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1. Conceptos Generales

El tránsito es la variable más importante en el diseño de una vía, si bien es cierto el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento.

La metodología AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), considera que la vida útil de un pavimento está relacionada con el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final.

2.1.1. Conteo Vehicular

La selección de las estaciones de conteo vehicular se basa en buscar polos generadores de viajes o sea puntos ubicados en los tramos de carretera que influyen en el incremento del tráfico del proyecto en estudio.

2.1.2. Clasificación del Tránsito.

2.1.2.1. Motocicleta: Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatros ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluyen scooter, motoneta, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.

2.1.2.2. Vehículos Livianos: son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, camionetas y microbuses de uso personal.

2.1.2.3. Vehículos Pesados De Pasajeros: son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatros, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes.

2.1.2.4. Vehículos Pasados de Carga: son los vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4,5 y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones de tres ejes C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos

(T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales tales como Agrícolas y de Construcción. (Ver figura 7 en anexos).

2.1.3. Proyección de Tránsito

Esta debe ser desarrollada en base a estimaciones de factores socioeconómicos tales como el PIB (Producto Interno Bruto), crecimiento poblacional, además el historial de crecimiento vehicular.

2.1.4. Tránsito de diseño

Es el tránsito total de vehículos que circulará en la estructura de un pavimento durante la vida útil de diseño, tomando en cuenta el factor de crecimiento, factor direccional, factor carril así como el tránsito inicial.

$$TD = T_n * FC * FD * FC'$$

T_n = Tránsito actual “n”.

TD = Tránsito de diseño.

FD = Factor direccional.

FC = Factor de crecimiento.

FC' = Factor Carril.

2.1.5. Factor de crecimiento

Su valor se calcula de la siguiente manera:

$$Fc = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

i : Tasa de Crecimiento (tasa de crecimiento vehicular la cual puede variar en dependencia del tipo de vehículo).

n : Periodo de diseño (es el tiempo en el cual la estructura de pavimento resiste las cargas del tránsito antes de que requiera rehabilitación).

2.1.6. Factor carril

Relación que existe en la distribución del tráfico cuando uno o más carriles son usados en una sola dirección. De acuerdo a la norma AASTHO se tomó el valor de 1.

2.1.7. Factor direccional

Relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones para caminos rurales y 1 si poseen un solo sentido (según las normas de la AASHTO). La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro.

2.1.8. Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es el número total de vehículos que pasa durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día dividido entre el número de días del período.

2.1.9. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el número de vehículos que pasa por un lugar dado durante un año dividido entre el número de días del año.

2.1.10. Cargas equivalentes

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de carga, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. La anterior consideración, plantea un problema muy complejo que hace necesario recurrir a simplificaciones prácticas.

Dado que la estimación de daño producido por las diversas cargas por eje es muy compleja y que la única fuente confiable de información para afrontar este problema es el “AASHTO ROAD TEST”, de cuyos resultados se derivaron una serie de factores de equivalencia, la carga tomada como patrón es un eje sencillo 8.2 toneladas.

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL: Ejes de Carga Estándar Equivalentes). Los valores de peso y ejes se obtienen respectivamente de los diagramas de cargas permisibles suministrado por el MTI-Dirección General de Vialidad, Departamento de Pesos y Dimensiones. (Ver Tabla 19 y Fig. 8 en anexos).

2.2. Estudio de Tránsito del Tramo

2.2.1. Conteo Vehicular

Tomando en cuenta los datos del conteo de flujo vehicular realizado por el MTI se estimó el tránsito que circulará por la vía.

De la información del Anuario de Aforo 2010 se obtuvieron los volúmenes de tráfico existente en el camino, cuyos conteos se realizaban durante 12 horas diarias por 3 días.

Se analizaron dos estaciones No. 4301 que corresponde a Llano de la Cruz-Empalme Dantalí, localizado hacia el Sur y la 4301B Dantalí-Cuyalí, localizada hacia el Norte.

La ubicación de las estaciones donde realizaron estos conteos de tráfico se muestra en la Figura N°3:

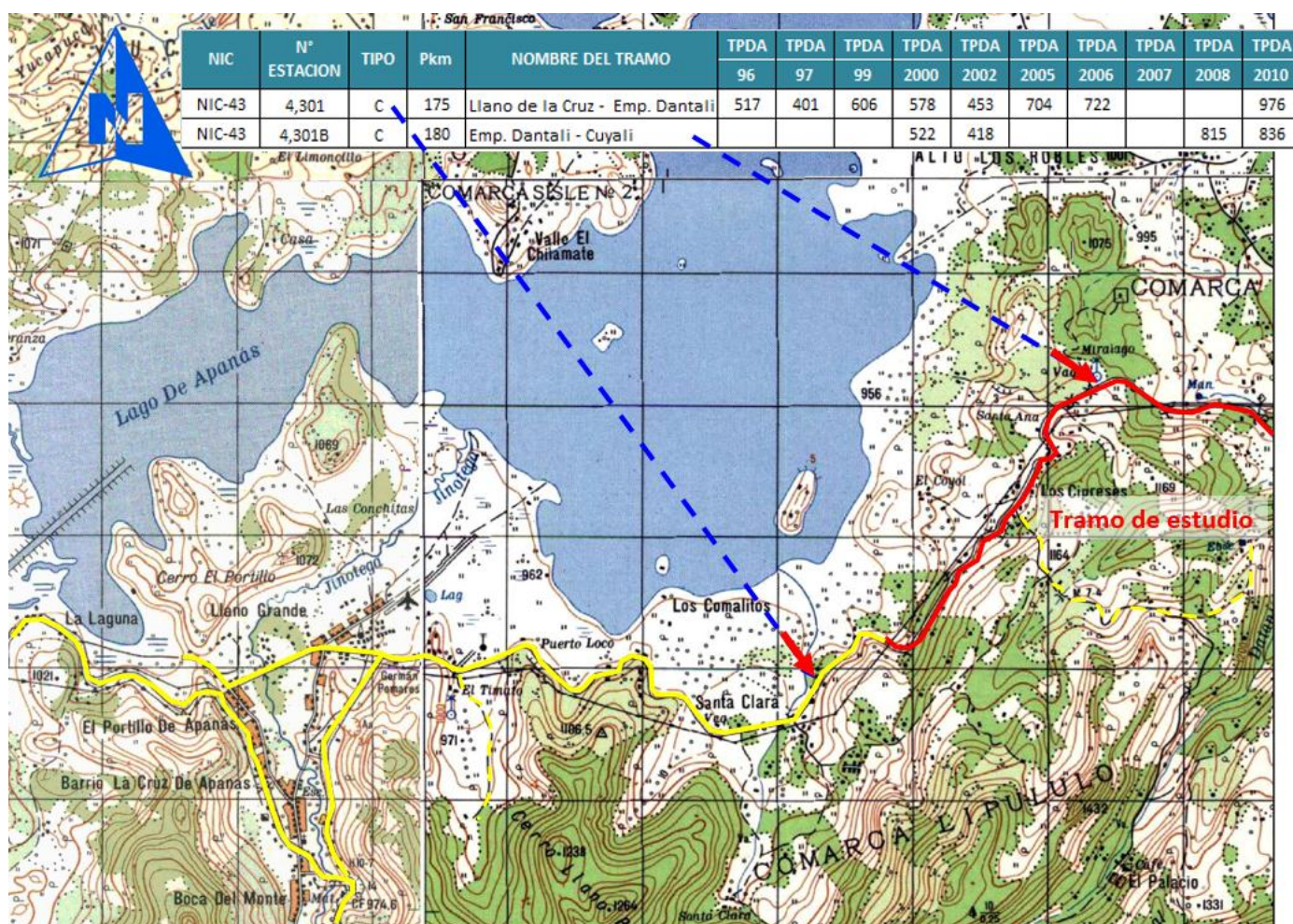


Figura N°3 Fuente: Estudio de Tráfico MTI.

2.2.2. Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual TPDA

El procedimiento para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual se describe a continuación:

2.2.2.1. Factores de ajustes

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Conteo Sumaria, se aplicaran los factores tales como Factor día, Factor semana y Factor de expansión, correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura, la Estación permanente N° 1802 “San Marcos-Masatepe” (Según el Anuario de Aforos 2013, las estaciones Llano de la Cruz-Empalme Dantalí y Empalme Dantalí-Cuyalí dependen de la estación Permanente 1802), para el periodo 2010-2013.

2.2.2.2. Factor Día:

Corresponde expandir el tráfico diurno de 12 hora a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas.

2.2.2.3. Factor Semana:

Es el factor para expandir el resultado obtenido para un periodo corto de tres días de la semana (Martes a Jueves) al promedio semanal 7 días (Lunes a Domingo).

2.2.2.4. Factor de Expansión:

Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA). Se procedió a multiplicar el TP (12 horas) por los factores día, semana y de expansión. Determinando el TPDA para cada estación Ver tabla 1 y 2.

Tabla 1
Cálculo del TPDA con Factor Semana y Factor Temporada de la Estación 1.vpd

Camino: NIC-43 Estacion: 4301															abril 2010				Km 175+000	
Tramo: Llano de la Cruz - Empalme Datanli																				
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total			
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2 5+t	C3	TxSx	TxSx	CxRx	CxRx .	VA	V.C.		Otros		
					<15 s	15-30s	30+ s				≤4e	≥5e.	≤4e	≥5e						
TP (12 h)	314.00	12.00	34.00	245.00	0.00	1.00	81.00	45.00	52.00	3.00	0	2.00	0	0	1.00	0	2.00	792		
Factor Día	1.32	1.41	1.41	1.41	1.40	1.38	1.34	1.39	1.52	1.45	1.00	1.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Factor Semana	0.94	1.03	0.99	0.95	1.01	1.11	0.99	0.89	0.87	0.85	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90			
Factor Expasion	0.90	0.98	0.96	0.99	0.92	0.90	1.00	0.94	0.99	1.21	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.32			
TPDA	351	17	46	325	0	1	107	52	68	4	0	2	0	0	1	0	2	976		
% TPDA	35.96	1.74	4.71	33.30	0.00	0.10	10.96	5.33	6.97	0.41	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	0.00	0.205	100.00		

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, MTI, Anuario de aforo 2010.

Tabla 2
Cálculo del TPDA con Factor Semana y Factor Temporada de la Estación 2.vpd.

Camino: NIC-43 Estacion: 4301B															abril 2010				Km 179+.500	
Estación: Emp. Dantali - Cuyali																				
Grupo	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total			
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2 5+t	C3	TxSx	TxSx	CxRx	CxRx .	VA	V.C.		Otros		
					<15 s	15-30s	30 + s				≤4e	≥5e.	≤4e	≥5e						
TP (12h)	272.00	8.00	26.00	208.00	0.00	1.00	72.00	37.00	48.00	3.00	0	2.00	0	0	0.00	0	1.00	678		
Factor dia	1.32	1.41	1.41	1.41	1.40	1.38	1.34	1.39	1.52	1.45	1.00	1.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
Factor Semana	0.94	0.99	0.99	0.95	1.01	1.11	0.99	0.89	0.87	0.85	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90			
Factor Expansion	0.90	0.96	0.96	0.99	0.92	0.90	1.00	0.94	0.99	1.21	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.32			
TPDA (vpd)	304	11	35	276	0	1	96	43	63	4	0	2	0	0	0	0	1	836		
% TPDA	36.36	1.32	4.19	33.01	0.00	0.12	11.48	5.14	7.54	0.48	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.120	100.00		

Fuente: Resultados del Estudio de Tráfico, MTI, Anuario de aforo 2010.

El tráfico promedio diario anual del tramo: Miralagos - Cuyalí, resulta de seleccionar el mayor número de vehículos por cada tipo de vehículos entre ambas estaciones, considerando las cantidades de vehículos que circularán por la vía. (Ver tabla 3).

Tabla 3
Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), del Camino.

Tráfico del Camino: Jinotega -Llano La Cruz, Dantali-Cuyali																		
Grupo	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2 5+t	C3	TxSx	TxSx	CxRx	CxRx .	VA	V.C.		Otros
					<15 s	15-30s	30 + s				≤4e	≥5e.	≤4e	≥5e				
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TPDA (Llano de la Cruz - Empalme Datanli)	351	17	46	325	0	1	107	52	68	4	0	2	0	0	1	0	2	976
TPDA (Emp. Dantali - Cuyali)	304	11	35	276	0	1	96	43	63	4	0	2	0	0	0	0	1	836
TPDA (vpd) del Camino	351	17	46	325	0	1	107	52	68	4	0	2	0	0	1	0	2	976
Camino (vpd) % TPDA	36.0	1.7	4.7	33.3	0.0	0.1	11.0	5.3	7.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	100.0

Nota: Análisis Propio

El tramo correspondiente de 6.67 km tiene un Tránsito Promedio Diario Anual – (TPDA) de **976 vpd**, clasificándose según rangos establecidos por el SIECA como colectora rural según TPDA 500 – 3000. (Ver tabla 4).

Tabla 4
Clasificación según rangos establecidos por el SIECA

TPDA	> 20,000		20,000-10,000		10,000-3,000		3,000-500	
Clasificación Funcional	C	S	C	S	C	S	C	S
AR-Autopista Regional	6.-8	Pav.	4.-6	Pav.				
TS-Troncales Suburbanas	4	Pav.	2.-4	Pav.	2	Pav.		
TR-Troncales Rurales	4	Pav.	2.-5	Pav.	2	Pav.		
CS-Colectora Suburbanas			2.-6	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR-Colectora Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA, 2004.

2.2.3. Proyección del tránsito.

Para proyectar el tránsito hasta el horizonte del proyecto se estimaron factores como crecimiento poblacional, el comportamiento de Producto Interno Bruto (PIB) y crecimiento vehicular histórico de la zona en estudio.

- Las series históricas de los volúmenes de tráfico de las carreteras estudiadas, se correlacionarán con los registros de la Estación permanente N° 1802, la que servirá para correlacionarla con las variables socioeconómicas.
- La población y los pronósticos de crecimiento de INIDE para el período 2015 – 2020 y los resultados del VIII Censo de Población y IV de Vivienda 2005.
- Las estadísticas económicas del Banco Central de Nicaragua (BCN), Producto Interno Bruto (PIB).

Los análisis de flujos de tráfico que se producirán en los caminos aledaños o cercanos al tramo en estudio, estará bajo la perspectiva de un crecimiento económico basado en el desarrollo del país, dentro del marco de los diferentes tratados comerciales de carácter regional con los Estados Unidos y otros países como China Taiwán y La Unión Europea, lo mismo que con las alianzas comerciales con Países amigos a través del ALBA, pero principalmente con los pronósticos de crecimiento económico realizado por las Autoridades del Banco Central de Nicaragua (BCN) y los efectos de la recesión económica Internacional y los impactos de ésta en la economía nacional.

2.2.3.1. Tasa de crecimiento del país (PIB).

El Producto Interno Bruto (PIB) registró un crecimiento acumulado al primer semestre de 2014 de 4.3 %, ubicando a Nicaragua como la economía de mayor crecimiento en el área centroamericana. Por su parte, el Índice Mensual de Actividad Económica (IMAE) en el mes de octubre mostró un crecimiento interanual de 4.7%. Lo anterior sugiere que la actividad económica recuperó dinamismo a partir del tercer trimestre del año, según informe sobre el Estado de la Economía del Banco Central de Nicaragua (BCN) presentado el 16 de Diciembre de 2014.

En el marco de un mayor crecimiento económico esperado, tanto para la economía mundial como Latinoamérica, el 2015 se proyecta un mayor dinamismo de la economía

nicaragüense, estimando una tasa de crecimiento entre 4.5 y 5.0 % y una inflación situada en un rango entre 6.0 y 7.0 %, según informe sobre el Estado de la Economía del Banco Central de Nicaragua (BCN) presentado el 16 de Diciembre de 2014.

Se proyecta para el 2015 que el crecimiento de Estados Unidos subiría al 3 % lo que incidiría positivamente en las remesas y en nuestras exportaciones y que los términos de intercambio mejorarían levemente. De esta manera el crecimiento podría alcanzar 5 %, de acuerdo al Informe Coyuntural Económico del FUNIDES 2014.

2.2.3.2. Tasa de crecimiento poblacional.

Según "Proyección de Población de los municipios de Jinotega y Pantasma" realizado en Marzo del 2008 por el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE), la tasa de crecimiento proyectada para el municipio de Jinotega del 2010-2015 es de 1.4%. La tasa de crecimiento para el municipio de Pantasma es de 1% en el mismo período (Ver Tabla 5 y 6). El documento de INIDE no presenta los índices de crecimiento de Miralagos y Cuyalí, por tal razón hemos utilizado los datos de Jinotega y Pantasma los cuales son aledaños al tramo en estudio.

Tabla 5
Tasa de Crecimiento Jinotega

Tasa de Crecimiento Jinotega			
Tasa de Crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
2005-2010	1.9	1.8	2.1
2010-2015	1.4	1.3	1.5
2015-2020	1.6	1.6	1.7

Fuente: Jinotega en cifras (INIDE-2008)

Tabla 6
Tasa de Crecimiento Pantasma

Tasa de Crecimiento Pantasma			
Tasa de Crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
2005-2010	1.5	1.4	1.6
2010-2015	1	0.9	1.1
2015-2020	1.1	1.1	1.2

Fuente: Pantasma en cifras (INIDE-2008)

2.2.3.3. Tasa de crecimiento vehicular.

Se ha experimentado también en el tráfico un incremento en las principales carreteras donde se ubican las estaciones de conteo volumétrico de tráfico permanentes del Sistema de Administración de Pavimentos – PMS, de la División General de Planificación - DGP del Ministerio de Transporte e Infraestructura – MTI, se estima una tasa de crecimiento del 6.49 % en la Estación permanente N° 1802 “San Marcos-Masatepe” según el Anuario de Aforos 2013, las estaciones Llano de la Cruz-Empalme Dantalí y Empalme Dantalí-Cuyalí dependen de la estación Permanente 1802 para el periodo 2010-2013. (Ver Tabla 20, en Anexos).

El método más común para la proyección del tráfico es la ecuación siguiente:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Dónde:

Tc: Tasa de Crecimiento.

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Anual Actual.

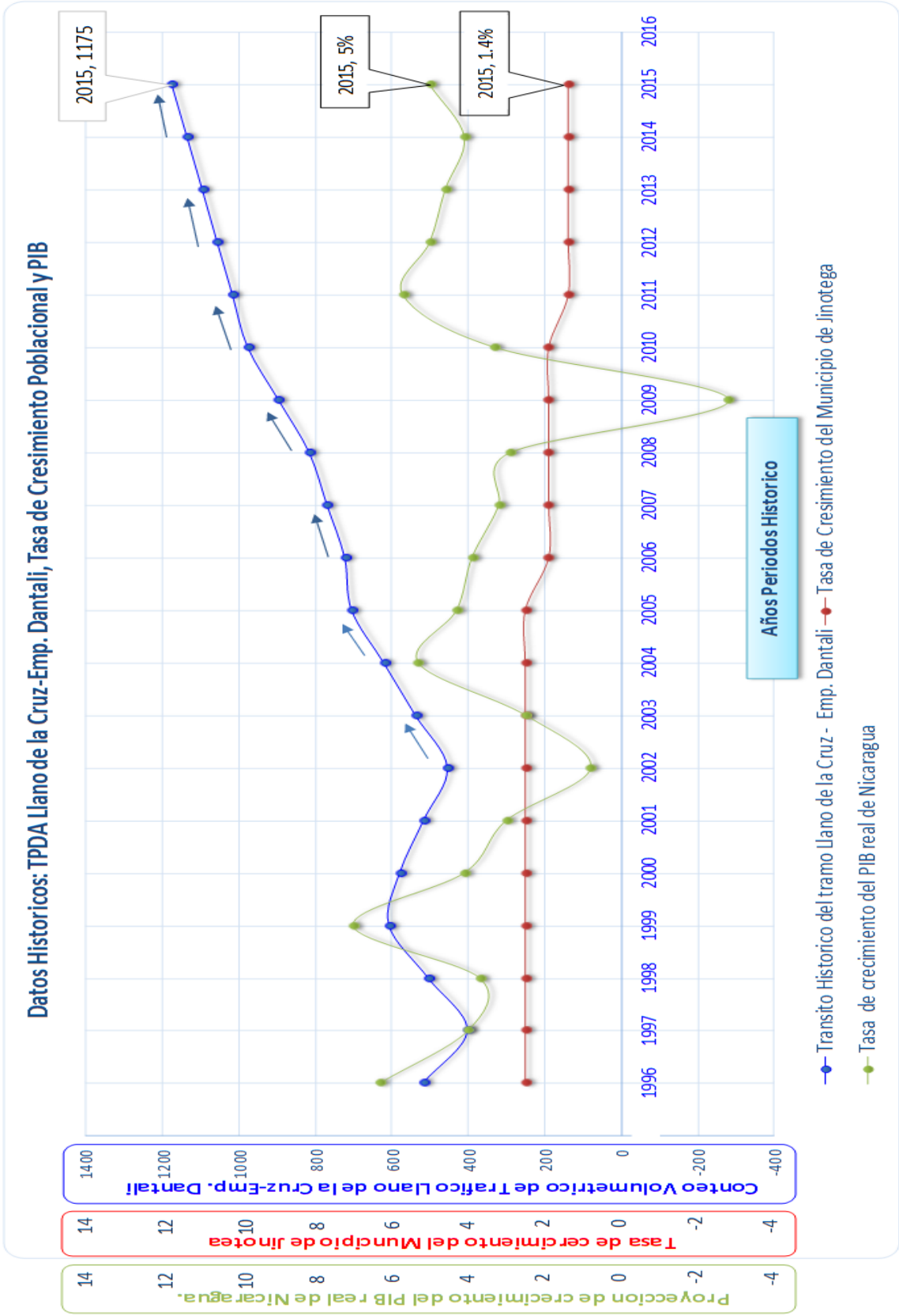
TPDA_o: Tráfico Promedio Diario Anual Año Base.

n: diferencia de años.

2.2.3.4. Tasa de crecimiento del Proyecto

Comportamiento según datos históricos, conteo volumétrico del tráfico, tasa de crecimiento poblacional y tasa de crecimiento del PIB. (Ver figura 4).

Figura 4



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Gráfica

1. Tráfico.

De acuerdo a los datos históricos proporcionado por el MTI, para el tramo en estudio del conteo vehicular Miralagos – Cuyalí, se tiene que en el periodo de 1996 - 2004 el tráfico registró un máximo de 600 Veh/día. Cabe mencionar que el Huracán Mitch en 1998 afectó la zona registrando bajo tráfico en ese año.

En el periodo 2005 - 2008 el tránsito fue incrementando anualmente 800 Veh. Considerando el comportamiento ascendente que tiene el tráfico en el periodo 2005-2008, se proyectó al 2015 un tránsito de 1175 Veh.

2. Producto interno Bruto (PIB).

El PIB del país para el año 2004 registró un crecimiento de 5.3%, en los años siguientes la economía empezó a decaer y en el año 2009 con la crisis económica Mundial el PIB Nacional bajó un porcentaje negativo de -2.8%, a partir del año 2010, el crecimiento económico del país aumenta hasta el 5.7% y en los años posteriores se mantiene constante proyectando para el año 2015 un 5%.

3. Crecimiento poblacional.

La tasa de crecimiento poblacional en el municipio de Jinotega se ha mantenido históricamente hasta 2005 en 2.5%, para el periodo 2006-2010 se mantuvo constante en 1.9% y finalmente del 2011 al 2015 se ha mantenido en 1.4% (Según INIDE).

Consolidando los tres comportamientos.

Del análisis histórico del tránsito y el PIB se deduce que no tiene relación de manera directa en cuanto al crecimiento de cada una y dependientes entre sí, debido que la economía en estos últimos seis años ha incrementado, de igual manera la cantidad de vehículos registrados por año, no siendo así para el crecimiento poblacional que se ha mostrado un comportamiento constante sin crecimiento.

La agricultura y ganadería son las principales actividades económicas de la zona. El sector agrícola más importante es el café producto que se comercializa dentro y fuera del país, un sector de productores se dedica a la siembra de granos básicos y hortalizas, los

cuales son comercializados en las propias comunidades y otras en Managua.

De acuerdo a las proyecciones realizadas la economía Nicaragüense seguirá creciendo, manteniéndose sólida, posee los riesgos generados por las crisis que enfrentan los principales socios comerciales del país EEUU, la unión Europea, Venezuela entre otros. Sin embargo implementando una mayor dinámica en la exportación y producción, así como los tratados de libre comercio con EEUU, UE, Centroamérica y el Alba, se espera que la economía se mejore.

En base al análisis realizado del comportamiento de las variables socioeconómicas, además del análisis realizado de la situación económica local y del país, considerando que los rubros económicos tienen una alta demanda proyectada en el futuro y que el movimiento vehicular aumentará para suplir estos rubros se propone utilizar una tasa de crecimiento de 3.5% para vehículos pesados y 4% para vehículos livianos.

2.2.3.5. Periodo de Diseño

Para nuestro estudio se define que el período de diseño es de 15 años, de acuerdo a la Tabla 7:

Tabla 7
Periodo de Diseño

Tipo de Carretera	
Autopista Regional	20-40 años
Troncales suburbana	15-30 años
Troncales Rurales	15-30 años
Colectora Suburbana	10-20 años
Colectora Rurales	10 - 20 años

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño
Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004

Se ha escogido este periodo de diseño de 15 años, debido a la importancia que tiene la zona para el desarrollo económico del país. Cabe mencionar que de acuerdo al Programa Anual de Compras del año 2013 del Ministerio de Transporte e Infraestructura, el tramo en estudio cuenta con donaciones del Banco Interamericano de Desarrollo por un monto disponible de U\$ 4,076,875.00.

2.2.3.6. Cálculo de la proyección del Tránsito.

$$T_n = T_o (1 + i)^n$$

Dónde:

Tn: Cantidad de vehículos para el año estimado (2015).

To: Tránsito en el año cero (2010).

i: Tasa de crecimiento anual, 4% vehículos livianos, 3.5% vehículos pesados.

n: cantidad de años, proyectado a 5 años.

Aplicando la fórmula se obtiene el tránsito para el primer año en servicio del proyecto 2015.

El tránsito de estudio corresponde al mes de Abril del 2010. En la tabla 8 se presenta el Tránsito para el año 2015:

Tabla 8
Tránsito 2015

Año	T0 2010	T0 2010	Factor	T0 2015
Vehículo Liviano	Motos	351	1.21665	427
	Autos	17	1.21665	21
	Jeep	46	1.21665	56
	Cta	325	1.21665	395
Pesado de Pasajero	MB > 15P	1	1.18769	1
	BUS	107	1.18769	127
Pesado de Carga	Liv C2	52	1.18769	62
	C2	68	1.18769	81
	C3	4	1.18769	5
Total (vpd)		971		1175

Fuente: Elaboración Propia

$$\text{Factor} = (1 + 0.040)^5 = \mathbf{1.2166529024 \text{ Vehículos livianos}}$$

$$\text{Factor} = (1 + 0.035)^5 = \mathbf{1.18768631 \text{ Vehículos pesados}}$$

2.2.3.7. Factor de crecimiento.

Para el estudio se obtienen dos factores de crecimiento:

$$F_c = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i} = 365 * \frac{(1 + 0.04)^{15} - 1}{0.040} = \mathbf{7308.6091 \text{ (veh. Livianos)}}$$

$$F_c = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i} = 365 * \frac{(1 + 0.035)^{15} - 1}{0.035} = \mathbf{7042.923521 \text{ (veh. Pesado)}}$$

2.2.3.8. Factor direccional:

Para la vía en estudio se asignó el valor de 0.5 (La distribución direccional se asigna 50% del tránsito a cada dirección).

2.2.3.9. Factor carril

El tramo en estudio es una vía de un solo carril en el sentido de circulación de diseño, según la norma AASHTO se tomó el valor de 1, ver Tabla 9.

Tabla 9
Factor Carril

Numero de Carriles en cada direccion	LD
1	1
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuentes: ASSTHO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

2.2.3.10. Tránsito de diseño

El número de vehículos que circulará en todo el periodo de diseño de la carretera se obtiene mediante la ecuación:

$$TD = T_o * F_c * F_d * F_c'$$

Dónde:

TD: Tránsito de diseño.

T_o: Tránsito en el año cero.

F_c: Factor de Crecimiento .

F_d: Factor de Distribución Direccional.

F_{c'}: Factor Carril.

Resultados de Tránsito de Diseño (Ver Tabla10).

Tabla 10
Tránsito de Diseño

Clasificación de Vehículo	Tipo de Vehículo	Promedio diario (T0-2015)	Factor de Crecimiento FC	FD	Fcarril	TD
Vehículo Liviano	Autos	21	7308.60949	0.5	1	76740
	Jeep	56	7308.60949	0.5	1	204641
	Cta	395	7308.60949	0.5	1	1443450
Pesado de Pasajero	MB > 15P	1	7042.92352	0.5	1	3521
	BUS	127	7042.92352	0.5	1	447226
Pesado de Carga	Liv C2	62	7042.92352	0.5	1	218331
	C2	81	7042.92352	0.5	1	285238
	C3	5	7042.92352	0.5	1	17607
TOTAL (veh/día)						2696754

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 3

ESTUDIO DE SUELOS

3.1. Conceptos Generales

3.1.1. Sub-rasante.

Es la parte donde descansa toda la estructura de pavimento, de la calidad de esta capa depende el espesor que requiere o debe tener un pavimento. Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad de un suelo a la humedad, los cambios de volumen de un suelo sub-rasante del tipo expansivo, puede ocasionar grandes daños en la estructura que se apoya sobre este. Existen diferentes formas de estabilizar un suelo determinado, agregando aditivos como la cal y el cemento.

La resistencia de la sub-rasante es un factor básico en la determinación de los espesores de la capa de pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio de CBR.

3.1.2. Ensayes de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio son utilizados para caracterizar a los suelos encontrados en las áreas o sitios de estudio, con el objeto de determinar las propiedades físicas de cada suelo muestreado, es necesario efectuar varias pruebas, las que se detallan a continuación:

3.1.3. Análisis Granulométrico.

El análisis granulométrico es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de las partículas del suelo.

3.1.4. Límite Líquido.

El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El Límite líquido de un suelo plástico, indica el contenido de agua para el suelo que tiene una cierta consistencia con una resistencia al corte de 2.5 g/cm^2

3.1.5. Límite Plástico

El límite plástico es la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la

condición de plasticidad. Para contenidos de humedad mayores que el Límite Plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo.

3.1.6. Índice de plasticidad

El Índice de plasticidad es la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico o el grado de contenido de humedad en el cual el suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.

3.1.7. Contenido de Humedad

El contenido de humedad es la relación del peso del agua y el peso seco de un suelo. El conocimiento de la humedad natural de un suelo, permite estimar su posible comportamiento como subrasante, ya que si dicho contenido de humedad esta próximo al Límite Líquido es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo que perderá buena parte de su resistencia original al ser alterado por el equipo de movimiento de tierras; por el contrario si el contenido de humedad es cercano al Límite Plástico en la época más húmeda del año, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

3.1.8. Peso específico

Se define como peso específico de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desaloje.

El valor del peso específico, queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, determinación de la densidad de equilibrio de un suelo y corrección de la densidad en el terreno por la presencia de partículas de agregado grueso, interviene en la mayor parte de los cálculos de mecánica de suelos.

3.1.9. Ensayo de compactación

Se entiende por compactación a todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable. Para efecto del control de la compactación, es necesario efectuar pruebas que permiten conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de los diferentes tipos de suelos.

3.1.10 Densidad Máxima.

Es el máximo peso seco obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.

3.1.11. Contenido Optimo de Humedad.

Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.

3.1.12. Determinación de la resistencia de los Suelos.

El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida).

El módulo de la resiliencia (M_r) reemplaza al CBR (Relación de Soporte California) como variable para caracterizar la Sub-rasante, Sub-base y Base, así mismo el módulo de la M_r es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez la característica no lineales de su comportamiento.

Convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el M_r con el CBR. Se han dado correlaciones para encontrar el valor del M_r , como la siguiente relación.

$$M_r = B \times CBR$$

3.1.13. Clasificación de los Suelos.

La medida de algunas propiedades de los suelos puede ser difícil, costosa y tomar mucho tiempo. En muchos proyectos de suelos, no se disponen de expresiones matemáticas para analizar la solución numéricamente, por esta razón es muy útil dividir el suelo en grupos y subgrupos con similares propiedades que a su vez indican un comportamiento ingenieril semejante, esta agrupación se denomina clasificación de suelos.

Los sistemas de clasificación facilitan un lenguaje común para expresar características del suelo, que son infinitamente variables, sin presentar una descripción detallada. Muchos de los sistemas de clasificación de suelos fueron diseñados por Ingenieros para sus usos y son basados en propiedades como la distribución del tamaño de grano y la plasticidad; sin embargo se debe ser precavido al usarlas, la solución de problemas de suelos a partir únicamente de la clasificación puede conducir a resultados desastrosos, por eso se deben considerar como una guía para predecir un comportamiento y no excluye la realización de determinados ensayos de laboratorio.

-Actualmente los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos en estudio para diseños de los pavimentos de carreteras y aeropistas son:

- American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO) ó Highway Research Board (HRB)
- Unified Soils Clasification System conocido como Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS.

De acuerdo al sistema AASHTO los suelos están clasificados en 8 grupos designado por los símbolos A-1 al A-8, en este sistema los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos, que van del A-1 al A-7 (ver Tabla 21 en anexos) y estos a su vez están divididos en un total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

En la clasificación se dividen en:

- Suelos granulares: son aquellos que tienen 35% menos del material fino que pasan por el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.
- Suelos finos: contienen más del 35% de material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Otro elemento importante en la clasificación de un suelo es el índice de grupo, suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo. Por ejemplo en los suelos granulares el IG está comprendido entre (0-4), para los suelos limosos el IG oscila

entre 8 - 20 y los suelos arcillosos entre 11 – 20 o más. Este índice cuando se indica hay que colocarlo entre paréntesis.

3.2. Estudio geotécnico del proyecto.

La información de los suelos a lo largo de la línea del proyecto y de los bancos cercanos para la fase de construcción fue obtenida de la firma ATESTAS Ingenieros consultores.

3.2.1. Trabajos de campo y laboratorio.

Las actividades realizadas en el campo comprendieron en la ejecución de sondeos manuales, localización y muestreo de bancos de préstamos.

3.2.1.2. Sondeos Manuales sobre la Línea.

Para conocer las condiciones del suelo del camino existente se realizaron 68 sondeos manuales con palines dobles y barra de manos distribuidos en la parte central, izquierda y derecha a lo largo del camino, iniciando esta actividad en el poblado de Cuyalí en la Est. 0+000 hasta finalizar el proyecto en la Est. 6+700. Estos sondeos se realizaron a cada 100 m considerando 10 sondeos por kilómetro con una profundidad de 0.00-1.5 m. (Ver Tabla 21, estratigrafía en anexos).

Se tomaron 140 muestras de suelo las que fueron identificadas en el sitio cada capa encontrada, se rotularon y se trasladaron al laboratorio para su respectivo análisis y ensayos de acuerdo a los procedimientos y normas establecidas.

El criterio para los ensayos de CBR fue el de analizar y agrupar los suelos característicos de la capa superficial hasta 0.30 m, obteniendo de esta manera 06 grupos.

3. 2.2. Resultados de los Ensayos sobre la línea

A las 140 muestras de suelo tomadas de los sondeos manuales se les practicaron ensayos de laboratorio, de acuerdo a los resultados obtenidos se procedió a la clasificación, lo que permitió determinar las características de cada una de las capas de suelo que está compuesto el camino.

Estación 0+000 – 1+500.

Superficialmente a profundidades de 0.30 m y hasta 1.50 m predomina suelo del tipo A-2-6 así mismo en los tramos 0+300 al 0+550 y 0+800 hasta 1+100 se encontró suelo del tipo A-7-5 superficialmente y a profundidad de 1.50m.

Estación 1+500 – 3+000.

Se encontró superficialmente y hasta 1.5 m de profundidad suelos de tipo A-2-6, A-2-7, A-2-4, pero en las estaciones 2+300, 2+600 y 2+800 se encontró a profundidades de 0.40 hasta 1.50 m suelos del tipo A-7-5.

Estación 3+000 – 4+600.

Aunque superficialmente y a profundidades de hasta 1.50 m se encontró suelos del tipo A-2-6, A-1-A y A-2-A, también en las estaciones 3+300, 3+600 hasta las 4+600 se encontraron suelos del tipo A-7-5, A-6, A-5 con las profundidades de 0.40 m hasta 1.50 m.

Estación 4+600 – 6+200.

Superficialmente hasta profundidades de 0.50 m se encontró suelos del tipo A-2-6, A-2-4, A-1-A, pero debajo de estos suelos hasta una profundidad 1.50 m se encontraron suelos A-5, A-7-5, A-7-6.

Estación 6+200 – 6+700.

Superficialmente se encontró suelos del tipo A-2-4 y A-2-6 hasta una profundidad de 0.40 m, pero en el tramo 6+300 hasta 6+600 se encontró suelos del tipo A-5 y A-7-5. (Ver perfiles estratigráficos Figura 9 en anexo).

Los tipos de suelos mas predominantes en todo el camino del proyecto son los siguientes: A-2-6(0), A-2-7(0), A-2-4(0), A-7-5, A-5 y A-6.

Cabe señalar que en las estaciones y tramos 0+400, 0+500, 0+700, 0+900, 1+100, 1+400, 2+800, 3+100, 3+300, 3+900, 4+100, 4+700 y 4+800 en donde superficialmente se encuentran suelos tipo A-7-5, A-5 y A-6 de mala calidad; con el fin de mejorar el CBR de la subrasante dicho suelo será retirado hasta una profundidad de 0.30 m y reemplazado

con el material del banco Santa Maura el cual posee un suelo del tipo A-2-7 con un CBR de 15%.

Se realizaron 6 ensayos de CBR de la agrupación de materiales con las mismas características ubicados en toda la línea de los cuales se obtuvo valores de entre 15 al 32 % compactadas a 95% Próctor. (Ver tabla 23 anexos)

3.2.3. Sondeos de los Bancos de Préstamo.

En el camino de Miralagos – Cuyalí se localizaron tres bancos de préstamo. A continuación presentamos una descripción de las características de los materiales encontrados en cada uno de ellos.

3.2.4. Característica de los Bancos de Préstamos.

Banco Santa Maura

El material de este banco se describe como una grava y limo color café claro a crema y clasificado de acuerdo al sistema HRB como, A-2-7 (0), con un índice de plasticidad de 14% y con un valor de CBR de 15%, a una compactación de 90% y 100%. Volumen del banco 21000 m³.

Para este banco no presentamos granulometría por que no fue proporcionada, solamente los datos antes descrito.

Este banco está ubicado en la Hacienda Santa Maura localizado hacia el camino Zaragoza su ubicación con el sistema de coordenadas UTM-WGS84 Ver tabla 11:

Tabla 1
Ubicación banco Santa Maura
coordenadas UTM-WGS84

NOMBRE DEL BANCO		PUNTOS	NORTE	ESTE
Santa Maura		1	1456171	623176
		2	1456205	623160
		3	1453869	638302
		4	1453900	638180

Banco Santa Rosa – El Tope

El material de este banco se describe como una grava y arena limosa y arcillosa color gris y clasifica de acuerdo al sistema HRB como A-2-4 (0), con un índice de plasticidad de 8% y un CBR de 60% a una compactación de 90% a 100%. Volumen del banco 37800 m³. Ver resultados de ensayos de material del Banco. Figura 10 en anexos.

Este banco de material está ubicado en la hacienda Santa Rosa camino hacia Santa Gertrudis el Tope. Estación 7+420 B/lzq. Su ubicación con el sistema de coordenadas UTM-WGS84. Ver tabla 12.

Tabla 2
Ubicación banco de material Santa Rosa
coordenadas UTM-WGS84

NOMBRE DEL BANCO		PUNTOS	NORTE	OESTE
El Tope - Santa Rosa		1	1457947	624392
		2	1458153	624208
		3	1458087	624134
		4	1457931	624385

Banco San José de la Montaña.

El material de este banco se describe como una grava de color gris, tiene una formación litológica con característica de la roca ígneas del tipo Basalto. Este banco tiene material clasificación A-1-b (0), no presenta plasticidad. Un CBR 95%, con una compactación del 98%. Volumen de banco 42021 m³. Ver resultados de ensayos de material del Banco. (Figura 11 en anexos).

Este banco de préstamo está ubicado en la comarca de Venecia en la hacienda San José de la Montaña, estación 1+400 de la Banda Derecha en la intersección del camino entre Santa Gertrudis y Zaragoza. Su ubicación con el sistema de coordenadas UTM-WGS84. Ver tabla 13:

Tabla 3
Ubicación banco San José de la Montaña
sistema de coordenadas UTM-WGS84

NOMBRE DEL BANCO		PUNTOS	NORTE	OESTE
San José de la Montaña		1	1457248	619115
		2	1457198	619301
		3	1457274	619323
		4	1457329	619113

A cada uno de los bancos de materiales antes expuestos se le realizó dos excavaciones a cielo abierto de 1.5 x 1.5 con profundidades variables mínima 2.5 máxima 3.00m. (Ver ubicación de los bancos en figura 12 en anexos).

De acuerdo al resultado de los bancos de materiales tenemos que el material del Banco Santa Rosa cumple con la exigencia de una sub-base, con un CBR de 60% a una compactación de 90 al 100%.

El Banco San José de la Montaña que se propone como material de Base, ya que presenta un material tipo roca ígnea (Basalto), con un CBR de 95% a una compactación del 98% corresponde a una base excelente, para este banco cumple la granulometría clasificándose como una base tipo C. (Ver tabla 32 en anexo).

CAPITULO 4
DISEÑO DE ESPESORES
DE PAVIMENTO FLEXIBLE

4.1. Conceptos

4.1.1. Pavimento

Está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construye técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, deben reunir los siguientes parámetros:

- ✓ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Debe ser económico.
- ✓ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- ✓ Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

El método a utilizar en el estudio es el ASSHTO-93.

Las variables que intervienen en el diseño de los pavimentos son de mucha importancia ya que por medio de ellas se pueden realizar diseños confiables y óptimos al mismo tiempo.

4.1.2. Variables de Diseño

4.1.2.1. El Tránsito

Para el cálculo del número de ejes sencillos equivalente de 8.2 toneladas (18,000 lbs.) acumulados durante el periodo de diseño, se hará uso de las cargas por ejes de cada tipo de vehículo suministradas por el MTI (Ver Tabla 19 y Figura 8 en anexos).

Existe un factor correspondiente para cada eje de vehículos según tablas de la ASSHTO del apéndice D, Diseño de estructura de pavimento D-3 y D-4, para ejes sencillos y dobles (Ver tabla 24 y 25 en anexos), la cual sugiere utilizar un número abstracto (SN) que expresa la resistencia estructural de un pavimento, transformando la carga por eje a un número de eje equivalente. Se asume para este estudio $SN=5$ y $Pt = 2$.

El número estimado de ejes equivalentes de 8.2 ton para el periodo de diseño de 15 años del tramo de carretera en estudio Miralagos-Cuyalí es de 2.062×10^6 , el cual se obtiene multiplicando el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo por su respectivo factor de equivalencia. El resultado final ESAL (W_{18}) se obtiene de la sumatoria total de las multiplicaciones antes realizadas.

$$W_{18} = \text{factor ESAL} * TD$$

Cálculo de Ejes Estándar Equivalentes (ESAL) mostrado en la Tabla 14.

Tabla 1
ESAL de Diseño

Clasificacion de Vehiculo	Tipo de Vehiculo	Peso por eje (Lbs)	TD	Factor ESAL	ESAL PARA CARRIL DE DISEÑO
Vehiculo Liviano	Autos	2200	76740	0.00038	29.1612
		2200	76740	0.00038	29.1612
	Jeep	2200	204641	0.00038	77.76358
		2200	204641	0.00038	77.76358
	Cta	2200	1443450	0.00038	548.511
		4400	1443450	0.00340	4907.73
Pesado de Pasajero	MB > 15P	8800	3521	0.05020	176.7542
		17600	3521	0.92060	3241.4326
	BUS	11000	447226	0.12650	56574.089
		22000	447226	2.35000	1050981.1
Pesado de Carga	Liv C2	8800	218331	0.05020	10960.2162
		17600	218331	0.92060	200995.5186
	C2	11000	285238	0.12650	36082.607
		22000	285238	2.35000	670309.3
	C3	11000	17607	0.12650	2227.2855
		36300	17607	1.43250	25222.0275
TOTAL (veh/dia)			2696,754	2062440	

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2.2. Confiabilidad

Comportamiento del pavimento ante condiciones ambientales y de tránsito. Probabilidad de que un pavimento se desarrolle satisfactoriamente durante su vida útil. Para el diseño se seleccionó un valor de confiabilidad de 85% según ASSHTO-93 (Pág. II-9), con una clasificación funcional de la vía en estudio como colectora rural. (Ver tabla 26 en anexos).

4.1.2.3. Desviación estándar.

Considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito, también toma en cuenta los datos de construcción (variabilidad en las propiedades de los materiales del suelo, condiciones climáticas y calidad de construcción).

Para pavimento flexible de $0.40 < S_o < 0.50$, según ASSHTO-93, para el diseño presente se tomará un valor de 0.45. (Ver Tabla 27 en anexos).

4.1.2.4. Serviciabilidad (ΔPSI)

Pérdida de la calidad de servicio que ofrece un pavimento

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

El índice de servicio presente varia de 0 (carretera imposible de transitar) hasta 5 (carretera perfecta).

La ASSHTO sugiere un $P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles, valor que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, ahora sugiere un valor de $P_t = 2.5$ para las autopistas y vías principales; $P_t = 2$ para las demás carreteras.

Se ha tomado para el diseño un valor de 4.2 para serviciabilidad inicial (P_o) y 2 para serviciabilidad final (P_t). De manera que $\Delta PSI = 4.2 - 2 = 2.2$.

Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

4.2. Propiedades de los Materiales

4.2.1. Superficie de Rodamiento (Carpeta Asfáltica)

Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Cuando la carpeta está hecha de concreto asfáltico colabora a la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante.

4.2.1.1. Estabilidad de Marshall.

El Valor de la estabilidad de Marshall está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. Las mezclas con valores muy altos de estabilidad, son con frecuencia pocos deseables, debido a que los pavimentos contienen este tipo de mezcla tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grande de tránsito. La clasificación del tránsito para el proyecto está catalogado como pesado, condiciones

del tránsito que resultan en un ESAL de diseño mayor a 10^6 , según serie de manuales No. 22 (MS-22), pág. 98 Fig. 3.19, criterios del Instituto del asfalto. (Ver Tabla 28 en anexos)

$$\text{ESAL} = 2062,440.42 \sim 2.062 \times 10^6$$

$$2.062 \times 10^6 > 10^6$$

El valor de la estabilidad de Marshall será de **1800 lbs**.

4.2.1.2. Coeficiente Estructural (a_1)

El coeficiente estructural a_1 para carpetas asfálticas en caliente está en función de su módulo de elasticidad y a su vez de la estabilidad Marshall.

En nuestro Diseño utilizaremos un valor de $a_1 = 0.41$ para la carpeta asfáltica, según ASSHTO-93. (Ver Figura. 13 en anexos).

4.2.2. Base.

Es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores los esfuerzos producidos por el tránsito de una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduce a través de la carpeta o por los hombros del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

4.2.2.1. CBR de la Base.

El material propuesto a utilizar proviene del banco San José de la Montaña, que corresponde a un material en su mayoría rocoso con un CBR del 95%.

4.2.2.2. Coeficiente Estructural (a_2)

Este material estará representado por un coeficiente Estructural a_2 . En este diseño el coeficiente a_2 es 0.1375, determinado mediante el gráfico. (Ver Figura 14 en anexos).

4.2.2.3. Módulo de Resiliencia

El módulo de resiliencia para la Base se determina utilizando el nomograma a partir del CBR, en este caso con un valor de CBR = 95%, por ser material tipo roca triturada, resultando un $M_r = 29,000$ PSI (ver Figura 14 en anexos).

4.2.3. Sub base

Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, por ejemplo, cambios volumétricos asociados con los cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. También actúa como drenaje para desalojar el agua que se infiltra al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base. Otra de las principales funciones es que sirve de transición entre el material de base, generalmente granular a materiales menos gruesos y la propia sub-rasante, generalmente formada por materiales más finos. La sub-base es más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la sub-rasante.

El material de Sub-Base podrá provenir del Banco de Préstamo Santa Rosa el Tope.

4.2.3.1. CBR de la Sub-base.

El banco de material propuesto para la sub base proviene del Banco Santa Rosa con un CBR del 60%, ubicándose como una capa sub base muy buena.

4.2.3.2. Coeficiente Estructural (a_3).

El material de esta capa está representado por un coeficiente estructural a_3 que permite convertir su espesor real a su número estructural. Se utilizará un valor de a_3 : 0.1240, determinado a partir del CBR en la gráfica (Ver Figura 15 en anexos).

4.2.3.3. Módulo de Resiliencia.

El Módulo de Resiliencia para la sub-base se determina utilizando el nomograma a partir del CBR, en este caso con un valor de CBR = 60% de acuerdo a las características del material, un $M_r = 17,500$ PSI (Ver Figura 15 en anexos).

4.2.4. Subrasante

Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería. La resistencia de la sub-rasante es un factor básico en la determinación de los espesores de las capas de pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio del C.B.R.

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento, compactadas al 95 Próctor Estándar, fue del orden de 15 a 32%.

4.2.4.1. CBR de Diseño

Determinación del CBR de Diseño

Para determinar el CBR de diseño se hace necesario realizar varias pruebas cuyo número depende de la importancia del proyecto y de la longitud del mismo. Todas estas pruebas son de esperar que den resultados diferentes a causa de las variaciones naturales de los suelos y a las imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos. El valor a tomar debe ser representativo de los materiales existentes, en el tramo de camino a considerar en el diseño de pavimento, por lo que existen muchos criterios para seleccionar el CBR adecuado, siendo el más utilizado el del Instituto del Asfalto, quien recomienda tomar un valor tal, que el 60, el 75 o el 87.5% de los valores individuales sea mayor o igual que él, de acuerdo con el tránsito que se espere circule sobre el pavimento, como se muestra la tabla 15.

Tabla 15
Límites para la selección del CBR de diseño (CONSULTA)

Numero de Ejes de 8.2 toneladas en el carril de Diseño	Percentil a seleccionar para el CBR de Diseño (%)
< 10 ⁴	60
10 ⁴ a 10 ⁶	75
> 10 ⁶	87.5

Fuente: Instituto de Asfaltos (MS-1) 1991

En este caso, el percentil a seleccionar es de 87.5%.

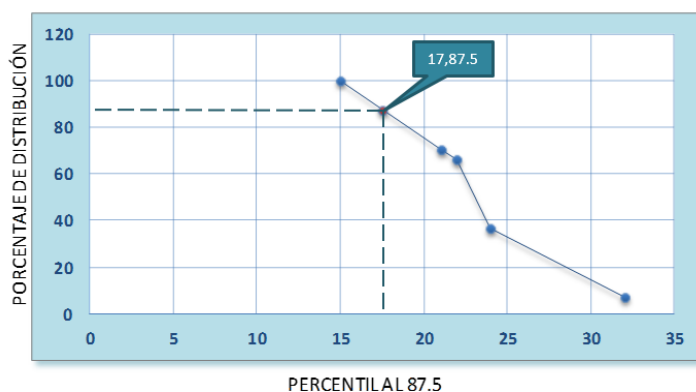
La metodología para la elección del CBR a utilizar consiste en:

- 1) Se ordenan los valores de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores que cada uno.
- 2) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes anteriormente calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR para el percentil elegido, de acuerdo al número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

El percentil obtenido para el Tramo Miralagos-Cuyalí, Ver tabla 16.

Tabla 16
CBR obtenido

CBR	Número de Repeticiones	Orden	% de valores iguales o mayores
15	20	68	100
21	3	48	70.6
22	24	45	66.2
24	20	25	36.8
32	1	5	7.4



Fuente: Elaboración Propia.

Clasificándose como una subrasante buena con un CBR de diseño de 17 % a una compactación del 95% (ver Tabla 29 en anexos).

La estructura de pavimento del proyecto se establecerá sobre el nivel de subrasante actual del camino.

4.2.4.2. Módulo resiliente (caracterización del material de subrasante)

Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos, se han encontrado una relación entre el MR medido en el campo y el CBR de laboratorio para la misma densidad. **MR (psi) = 1500 x CBR**, expresión que se considera

razonablemente para suelo fino con un CBR < 10 y **MR (psi) = 4326 x ln CBR + 241** expresión considerada para suelo granulares.

En el presente estudio con valor de CBR del 17 % con la característica de suelos granulares se usará la relación:

$$MR \text{ (psi)} = 4325 \times \ln CBR + 241 = 4325 \times \ln(17) + 2.41 = 12,497.48 \text{ PSI} = 12.50 \text{ KSI}$$

4.3. Determinación del número estructural (SN)

La ecuación de diseño recomendada por la AASHTO permite la obtención del número estructural, a partir de los siguientes parámetros:

- 1 Tránsito estimado durante el período de diseño (W_{18})
- 2 El nivel de confiabilidad (R). Debe recordarse que la aplicación de este nivel implica la utilización de promedios en los datos de entrada.
- 3 La desviación estándar (S_o).
- 4 El módulo resiliente de la subrasante (M_R)
- 5 La pérdida de nivel de servicio durante el período de diseño, $\Delta PSI = P_o - P_t$

4.3.1. Ecuación de diseño

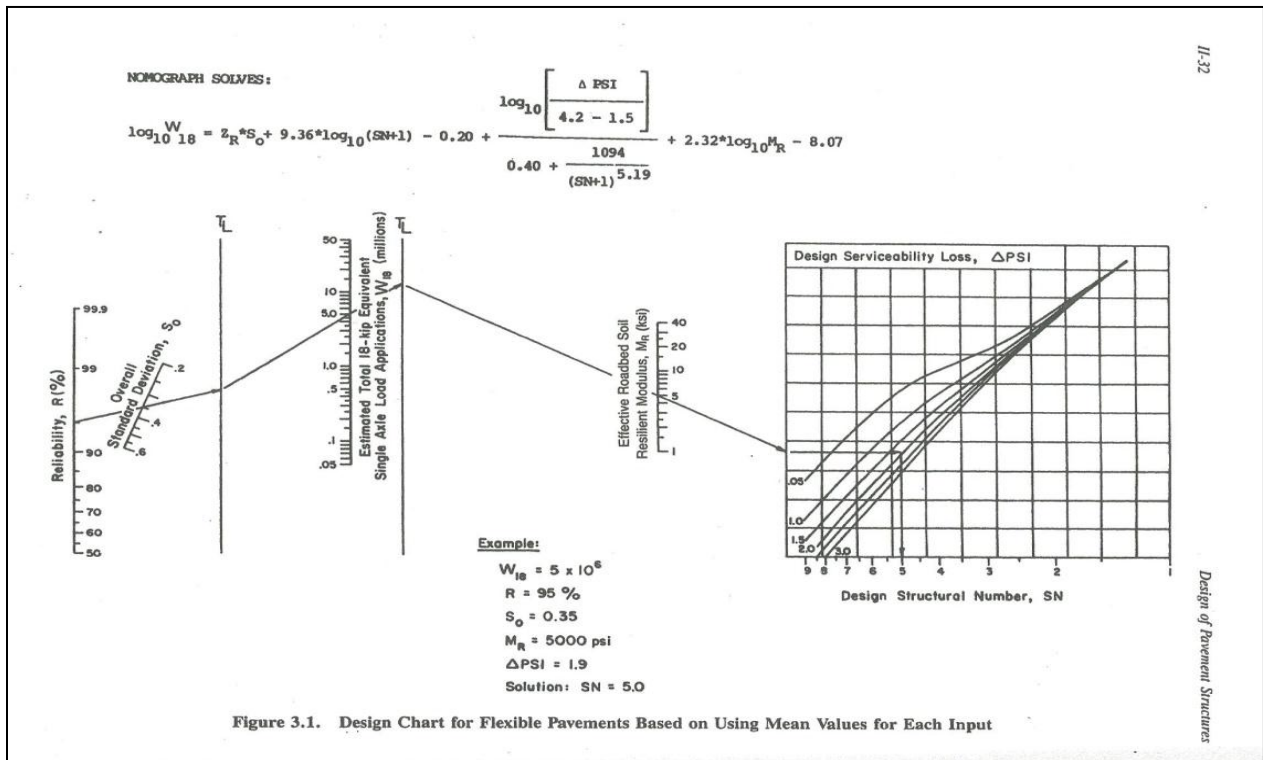
La Ecuación de Diseño para Pavimentos Flexibles corresponde a la Ecuación (1.2.1) descrita en la página I-5, Parte I, de la Guía ASSHTO-93 para el Diseño de Pavimentos y toma la configuración siguiente.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

4.3.2. Nomograma

Una manera de resolver la ecuación o conocer el Número Estructural (SN), es con el método gráfico o nomograma AASHTO que se presenta en la figura 5.

Figura 5
Nomograma AASHTO



Fuente: AASHTO, sección 3.1.1, pág. II.32

Este método es más rápido aunque menos preciso por los errores al trazar las líneas. Este representa el valor de SN para la base como para la carpeta de rodamiento.

Por medio de los números estructurales (SN) se determina los distintos espesores de capas que conformarán la estructura de pavimento.

El estudio define para la carpeta $SN_1 = 2.26$, para la base $SN_2 = 2.85$ y para la sub base $SN_3 = 3.22$ al realizar los trazos en la gráfica de diseño (Ver Figura 16 en anexos).

4.4. Coeficiente de Drenaje

La humedad tiene una gran influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen el paquete estructural y sobre el comportamiento de los pavimentos en general. La presencia del agua juega un papel tan importante que en el método AASHTO-93 incorpora un coeficiente de drenaje (**m**) en la ecuación de diseño que afecta a la base y sub-base.

El coeficiente de drenaje depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua y del tiempo que pasa expuesto a la saturación, en Nicaragua se utiliza el valor correspondiente a la unidad $m = 1$, ya que las pruebas del CBR se realizan en estado saturados.(ver la tabla 30 en anexos).

4.5. Espesores de Diseño de pavimento

De acuerdo a los cálculos antes descritos, tenemos como resultado los siguientes espesores de capa que conforman el paquete estructural de pavimento flexible así como sus características (Ver tabla 17 y figura 6), así mismo se usa el espesor mínimo para la carpeta asfáltica para un ESAL en el rango de 2, 000,000 a 7, 000,0000 (Ver Tabla 31 en anexos).

4.6. Cálculos del diseño.

Tabla 17

CBR = 17%	MR Subrasante: = 12,497.48 PSI	SN3: 3.22	
CBR = 60%	MR Sub-Base = 17,500 PSI	SN2: 2.85	a3 : 0.1240
CBR = 95%	MR Base = 29,000 PSI	SN1: 2.26	a2 : 0.1375
	Estabilidad de Marshall 1800 Lb		a1: 0.41

Fuente: Elaboración Propia.

Espesor de Carpeta

$$SN_1 = 2.26 \quad a_1 = 0.41$$

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.26}{0.41} = 5.51" \cong 6"$$

Recalculando el número Estructural (S_1^*)

$$D_1^* = 6"$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

$$SN_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* = 0.41 * 6 = 2.46 \geq 2.26 \text{ ok}$$

Según AASTHO 93 el mínimo para la carpeta asfáltica para un ESAL mayor de 2 millones debe de ser de 3.5". Ver tabla 31 en anexo.

Espesor de la Base.

$$SN_2 = 2.85; SN_1^* = 2.46; a_2 = 0.1375; m_1 = 1$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m} = \frac{2.85 - 2.46}{0.1375 * 1} = 2.83" \cong 6"$$

Recalculando el número Estructural (S_2^*)

$$D_2^* = 6"$$

$$SN_2^* = a_2 * D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.1375 * 6 = 0.83$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$2.46 + 0.83 \geq 2.85$$

$$3.29 \geq 2.85 \text{ ok}$$

Según ASSHTO 93 el mínimo para Base de un ESAL mayor de 2 millones debe ser 6". Ver tabla 31 en anexo.

Espesor de la Sub base.

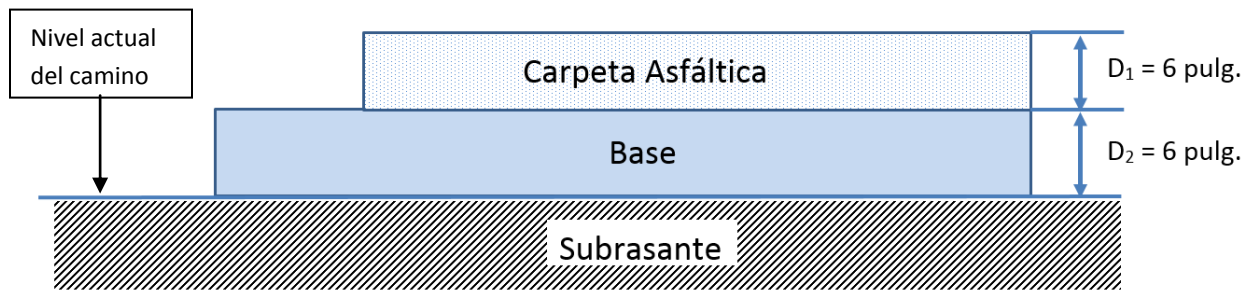
Criterio para ver si se necesita subbase.

$$SN_2^* + SN_1^* \geq SN_2 \geq SN_3$$

$$2.46 + 0.83 \geq 3.22$$

3.29 \geq 3.22 *ok* cumple, no se necesita sub-base.

Figura 6.
Esquema de capa de estructura de pavimento.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La estructura de pavimento flexible del tramo de 6.67 km de Carretera Miralagos-Cuyalí, por el método AASHTO – 93, estará conformada por:

5.1.1 Espesores Finales:

1. Carpeta Asfáltica con un espesor de 6”.
2. Base Granular de 6”, el material propuesto a utilizar proviene del Banco San José de la Montaña, que corresponde a un material rocoso con un CBR del 95%, excelente material de Base.

5.1.2. Estudio de Tránsito:

Las tasas de crecimiento propuesto para la proyección del tránsito corresponde a 4% para vehículos livianos y 3.5% para vehículos pesados, cuyos factores considerados fueron las variables socioeconómicas de Nicaragua y del sector estudiado. Es importante mencionar que el periodo de diseño corresponde a 15 años.

El tráfico proyectado a estos años da como resultado un total de 2696,754 veh/día. Los vehículos livianos predominantes corresponden a camionetas, con 204641 veh/día, que equivale a 53.52%. De los vehículos pesados, los buses son los que sobresalen con 447226 buses /día, representados en un 16.58%. Con respecto a los pesados de carga, los C2 son la mayoría con 285,238 camiones de carga/día equivalente al 10.57%.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio de tránsito, se calculó el ESAL de diseño de 2062440 de ejes equivalentes.

Los ejes estándar Equivalentes de las camionetas ejercen un efecto en la estructura de 0.26%, los buses a 53.70% y los C2 a 34.25%, por lo tanto las camionetas son las que generarían un impacto mínimo en comparación con los otros tipos.

5.1.3. Estudio de suelos:

Considerando la estratigrafía del subsuelo del área investigada así como los resultados del laboratorio, podemos decir que los materiales de subrasante corresponden en su mayoría a suelos granulares tipo A-2-6, A-2-7 y A-2-4, materiales con buena capacidad soporte, también en algunos tramos se encontraron suelos del tipo A-7-5, A-6 y A-5, material de mala calidad, el que fue retirado y repuesto con material del Banco Santa Maura. (Ver Pág. 32).

Es importante señalar que la estructura de pavimento del proyecto se establecerá sobre el nivel de subrasante actual del camino.

El CBR obtenido de las muestras de rodamiento compactadas al 95% oscila entre 15% a 32%. Obteniéndose un CBR de diseño de 17%.

5.1.3.1. Banco de material.

El CBR del material del Banco San José la Montaña a una compactación del 95% con un CBR de 95%, se ubica como un material de buena calidad, excelente material de base.

5.2. Recomendaciones

Construir los espesores de pavimento indicados en esta tesina, los que se determinaron en función del uso de la vía y de acuerdo a los tipos de suelos encontrados a lo largo del camino investigado.

5.2.1. Capa de rodamiento

Realizar control de calidad del material, diseño de mezcla y los procesos de construcción como la compactación de esta carpeta para alcanzar la estabilidad de Marshall de 1800 lbs.

5.2.2. Sub-Rasante

Se recomienda limpiar y escarificar la superficie de sub-rasante existente al menos en 15 cm de profundidad y compactarla a un mínimo de 95% Próctor.

5.2.3. Base

Este trabajo consistirá en colocar y compactar a no menos del 95% de su densidad máxima obtenida según Próctor, una capa de revestimiento de agregados seleccionados, colocada sobre la superficie de la Sub-rasante, preparada de acuerdo a las especificaciones NIC-2000 Cuadro 1003-3. (Ver tabla 32 en anexos).

5.2.4. Tránsito y Mantenimiento

Regular el peso del tránsito que circulará por la carretera, esto con el fin de proteger la estructura de pavimento, garantizando el tránsito y cargas que cumplan con las normas técnicas.

Contar periódicamente el tránsito de los vehículos y comparar el crecimiento propuesto con la realidad para corroborar el cumplimiento y actuar en caso de que el volumen sea mayor al estipulado.

Programar y ejecutar el mantenimiento periódico rutinario, necesario para el buen funcionamiento de la carretera.

Construir satisfactoriamente obras de drenaje subterráneas y superficiales tales como subdrenes y cunetas que permitan interceptar el agua y evacuarla.

Bibliografía

- AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Diseño de Pavimento (AASHTO-93). Ing. Oscar V. Cordo
- Especificaciones Generales para La Construcción de Caminos, Calles y Puentes NIC-2000, Abril 2002. MTI.
- Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. RAUL LECLAIR, SEGUNDA EDICION, SIECA, Marzo 2004.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Ing. Jorge Coronado Iturbide, Noviembre 2002
- Revista “Anuario de Aforos de Tráfico 2010”. MTI
- Revista “Anuario de Aforos de Tráfico 2013”. MTI.

Sitios WEB.

















- BCN Informe del Estado de la Economía al cierre de 2014 y Perspectivas 2015.
http://www.bcn.gob.ni/divulgacion_prensa/notas/2014/np181214.pdf
- FUNIDES Informe Coyuntural Económico 2014
<http://funides.com/wp-content/uploads/2015/01/primer-informe-de-coyuntura-economica-de-2014-nota-de-prensa.pdf>
- INIDE-2008.
http://www.inide.gob.ni/censos2005/CifrasMun/tablas_cifras.htm

Tabla 18.
IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

Tipos de caminos	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
	IRI	IRI	IRI	IRI
Pavimento de adoquines	3 - 4.5	4.5 - 8	8.0 - 12	≥ 12
Pavimento de Asfalto y Concreto Hidráulico	1.8 - 3	3-4.5	4.5-8	≥ 8
No pavimentados	9.0 - 13	13 - 18	18 - 22	≥ 22

Fuentes: Red vial de Nicaragua 2013 MTI.

Figura 7 TIPOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN VEHICULAR DE CONTEO DE TRÁFICO DE LA OFICINA DE DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS Y PUENTES

CLASIFICACIÓN VEHICULAR	TIPOS DE VEHÍCULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHÍCULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLISTAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimitos, Cuadriciclos, Motos Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMÓVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga
	MICROBÚS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBÚS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHÍCULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIONES DE CARGA C2-C3		Son todos aquellos caminos tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIONES DE CARGA PESADA Tx-Sx<= 4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semis Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son camiones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPOS PESADO	VEHÍCULOS AGRÍCOLAS.		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizan las actividades agrícolas. Existen de deferentes tipos (Tractores – Arados – Cosechadoras).
	VEHÍCULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimenta dora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRIALES		Se incluye remolques o triales pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente Anuario de Aforo 2013.

Tabla 19. -PESO POR EJES

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DIRECCION GENERAL DE VIALIDAD

DEPARTAMENTO DE PESOS Y DIMENSIONES

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES

CARGA MOVILES: Para efectos de diseño de estructuras de pavimento de acuerdo a resultados de estudios de tráfico, laboratorios de suelos, muestreos, conteo vehicular y cálculos relacionados, se han identificado que los daños que causa los vehículos livianos a la estructura del pavimento en carreteras nuevas, producto de su desplazamiento sobre la vía, es mínimo a razón de 1 en 50,000 respecto a vehículos pesados, por tal motivo no figura en el diagrama de cargas permisibles de nuestro país, información referida al respecto.

Para efectos de estimaciones de cargas, seguimiento estadístico, control de tráfico y diseño de vehículos se pueden considerar los siguientes pesos por ejes.

CARGAS PERMISIBLES

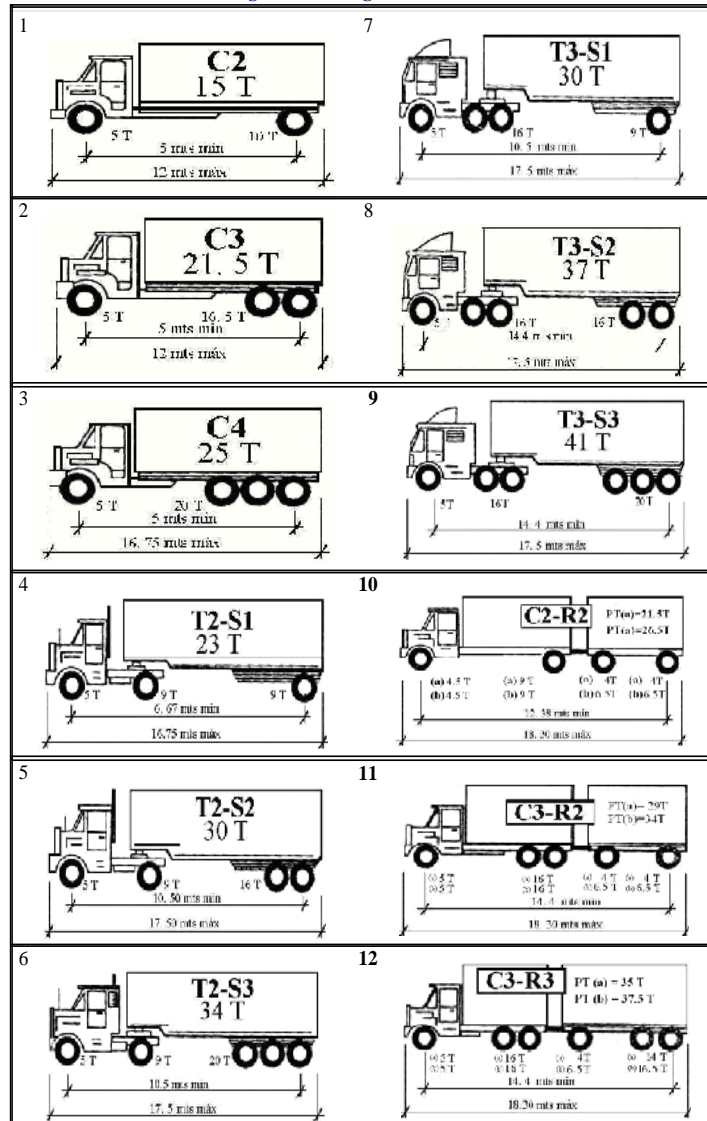
Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs.
AUTOMOVIL	1/1.	2200/2200
JEEP	1/1.	2200/2200
CAMIONETA	1/2.	2200/4400
MC-15	2/4.	4400/8800
MC-12-30	4/8.	8800/17600
C2-LIV	4/8.	8800/17600
BUS = C2	5/10.	11000/22000

Fuente: MTI

Figura 8 DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLE

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE VIALIDAD
Departamento de Pesos y Dimensiones

Diagrama de Cargas Permisible



Nota: El Pesos máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

(a): Eje sencillo, llanta sencilla.

(b): Eje sencillo, llanta doble

* Según vehículo cargado o descargado excederá en: Ancho: 2.60 mts, Alto 4.15 mts, Largo: 2 ejes 12 mts, 3 ejes 12 mts, semiremolque 17.50 mts, otras combinaciones desde 18.30 mts hasta 23 mts máximo.

* Para los ejes dobles (tandem) y triple la separación de centros comprendidos entre las ruedas es entre 1.0 y 1.30 mts.

Fuente MTI

Tabla 20

Diferentes tasas de crecimiento para las Estaciones de Mayor Cobertura

Est.	NOMBRE DEL TRAMO	TASAS			
		2010	2011	2012	2013
101B	Zona Franca - La Garita	2.08%	0.70%	1.90%	2.31%
107	Sebaco - Emp. San Isidro	3.04%	4.59%	4.75%	4.60%
200	Entrada al INCAI - El Crucero	2.52%	4.14%	4.30%	4.07%
300	Sebaco - Quebrada Honda	4.94%	4.27%	4.83%	4.30%
401	Masaya - Granada	0.04%	2.42%	2.51%	3.44%
700	Emp. San Franciso Tecolostote	5.76%	5.10%	5.40%	5.28%
1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	4.73%	5.10%	5.47%	5.47%
1802	San Marco - Masatepe	5.36%	5.49%	5.55%	6.49%
2404	Chinandega - Corinto	3.76%	6.72%	8.60%	7.97%
2400	Chinandega (Rotonda) - Rancheria		8.68%	7.68%	7.39%
2803	Nagarote - Lapaz Centro	1.43%	4.56%	5.67%	4.65%
PONDERADA EN EL AÑO		2.92%	4.71%	5.33%	5.09%

Anuario de aforo 2013 MTI.

Tabla 21 clasificación de los suelos sistema AASHTO

Clasificación General		Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla No. 200							Materiales Limoso y Arcilloso			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub-grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-4-6	
% que pasa tamiz:	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	
No. 10	50 máx.											
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.		
Caract. Bajo No.40												
LL				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	
IP	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
IG	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Tipo de Material	Grava y Arena		Arena Fina	Grava y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Terreno de Fundacion	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a Malo				

Fuente: Mecánica de Suelos para Obras Viales. Dr. Ing. Oscar Gutiérrez

Tabla 22
ESTRATIGRAFIA SOBRE EJE CENTRAL DE CARRETERA
TRAMO: MIRALAGOS – CUYALÌ

SONDEO	ESTACIÒN	BANDA	ESTRATO	DESCRIPCÌON	CLASIFICACIÒN H.R.B
1	0+000	Derecha	0.00 - 0.15	Grava Con Limo Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.15 - 0.30	Limo con Arcilla Color Crema	A-2-6 (0)
			0.30 - 0.65	Arcilla Color Plomo Oscuro	A-7-5 (6)
			0.65 - 1.50	Limo Arcilloso Color Crema	A-7-5 (6)
2	0+100	Izquierda	0.00 - 0.20	Grava con Limo Arenoso Color Gris	A-2-4 (0)
			0.20 - 1.50	Limo con Arcilla Color Gris	A-2-7 (0)
3	0+200	Inea Central	0.00 - 0.20	Limo con Grava Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
			0.20 - 1.50	Limo con Fragmento de Grava Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
4	0+300	Derecha	0.00 - 0.20	Limo con Grava Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
			0.20 - 0.60	Grava con Limo y Arcilla Color Semi-Rojizo	A-2-6 (0)
			0.60 - 1.50	Limo Color Gris a Claro	A-7-5 (6)
5	0+400	Izquierda	0.00 - 0.10	Limo con Grava Color Cafè Claro a Crema	A-7-5 (6)
			0.10 - 1.20	Limo Color Crema	A-7-5 (6)
6	0+500	Inea Central	0.00 - 0.35	Limo de Color Gris Claro	A-7-5 (6)
			0.35 - 1.30	Limo con Grava Color Cafè Claro	A-7-5 (6)
7	0+600	Derecha	0.00 - 0.10	Limo con Fragmento de Grava Color Cafè Claro	A-2-6 (0)
			0.10 - 1.30	Limo con Grava Color Cafè Claro a Gris	A-2-7 (0)
8	0+700	Izquierda	0.00 - 0.30	Limo con Grava Color Cafè Claro	A-7-5 (6)
			0.30 - 1.30	Limo con Fragmento de Grava Color Cafè	A-2-6 (0)
9	0+800	Inea Central	0.0 - 0.40	Limo con Grava Color Cafè a Crema	A-2-6 (0)
			0.40 - 1.30	Limo Color Cafè Claro	A-7-5 (6)
10	0+900	Derecha	0.00 - 0.40	Limo con Grava Color Cafè Claro a Crema	A-7-5 (6)
			0.40 - 1.30	Limo Color Cafè	A-2-6 (0)
11	1+000	Izquierda	0.00 - 0.20	Limo con Grava Color Cafè a Crema	A-7-5 (6)
			0.20 - 1.30	Limo Semi-Compacto Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
12	1+100	Inea Central	0.00 - 0.50	Arcilla de Color Cafè Claro a Gris	A-7-5 (0)
			0.50 - 1.30	Limo Plàstico Cafè Claro Amarillento	A-7-5 (0)
13	1+200	Derecha	0.00 - 0.40	Grava con Limo Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
			0.40 - 1.30	Arcilla de Color Cafè a Negro	A-2-5 (0)
14	1+300	Izquierda	0.00 - 0.07	Grava con Limo Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
			0.07 - 1.30	Limo Plàstico Cafè Claro Amarillento	A-2-6 (0)
15	1+400	Inea Central	0.00- 0.15	Grava con Limo Color Cafè Claro a Crema	A-2-6 (0)
			0.15 - 1.30	Limo Plàstico Color Crema Rojizo	A-7-5 (0)
16	1+500	Derecha	0.00 - 0.50	Grava con Limo Color Cafè a Crema	A-2-6 (0)
			0.50 - 1.30	Limo Plàstico Color Crema Rojizo	A-2-6 (0)
17	1+600	Izquierda	0.00 - 0.13	Grava con Limo Color Cafè a Crema	A-2-7 (0)
			0.13 - 1.30	Arcilla de Color Cafè Oscuro	A-2-7 (0)
18	1+700	Inea Central	0.00 - 0.13	Grava con Limo Color Cafè a Crema	A-2-7 (0)
			0.13 - 1.30	Limo Color Crema	A-2-7 (0)
19	1+800	Derecha	0.00 - 0.10	Grava con Limo Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.10 - 1.30	Limo Plàstico Color Crema Rojizo	A-2-7 (0)
20	1+900	Izquierda	0.00 - 0.10	Grava con Limo Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.10 - 1.30	Grava con Limo Color Cafè Claro a Crema	A-2-5 (0)
21	2+000	Inea Central	0.00 - 0.30	Grava con Limo Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.30 - 1.30	Limo con Grava Color Plomo Claro	A-2-5 (0)
22	2+100	Derecha	0.00 - 0.30	Grava con Limo de Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.30 - 1.30	Limo de Color Plomo	A-2-5 (0)

SONDEO	ESTACIÓN	BANDA	ESTRATO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN H.R.B
23	2+200	Izquierda	0.00 - 0.30	Grava con Limo Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.30 - 1.30	Limo de Color Amarillento	A-2-5 (0)
24	2+300	Izquierda	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-7 (0)
			0.30 - 1.30	Arcilla Semi-Arenosa de Color Rojizo a Crema	A-7-5
25	2+400	Derecha	0.00 - 0.60	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.60 - 1.20	Limo Plàstico de Color Cafè Oscuro	A-2-6 (0)
26	2+500	Izquierda	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.30 - 1.20	Limo Plàstico de Color Cafè Oscuro	A-4 (6)
27	2+600	Izquierda	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-7 (0)
			0.30 - 1.20	Limo Plàstico de Color Cafè Oscuro	A-7-5 (0)
28	2+700	Derecha	0.00 - 0.15	Grava con Arcilla de Color Cafè Claro	A-2-6 (0)
			0.15 - 1.20	Limo Semi-Compacto Color Verde	A-2-7 (0)
29	2+800	Izquierda	0.00 - 0.25	Grava con Arcilla de Color Cafè Claro	A-2-7 (0)
			0.25 - 1.20	Arcilla Arenosa de Color Cafè Claro a Crema	A-7-5 (0)
30	2+900	Izquierda	0.00 - 0.25	Grava con Arcilla de Color Cafè Claro	A-2-6 (0)
			0.25 - 1.20	Arcilla Arenosa de Color Cafè Claro a Crema	A-2-7 (0)
31	3+000	Derecha	0.00 - 0.15	Grava con Arcilla de Color Cafè Claro	A-2-6 (0)
			0.15 - 1.20	Limo Semi-Compacto de Color Blanco Hueso	A-2-4 (0)
32	3+100	Izquierda	0.00 - 0.10	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.10 - 1.20	Arcilla Compacta Arenosa de Color Cafè Claro	A-7-5 (0)
33	3+200	Izquierda	0.00 - 0.25	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-1-a
			0.25 - 1.20	Arcilla con Roca Suave de Color Gris	A-2-4 (0)
34	3+300	Derecha	0.00 - 0.25	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-5 (0)
			0.25 - 1.20	Limo Suelto Plàstico de Color Negro	A-7-5 (6)
35	3+400	Izquierda	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-1-a
			0.20 - 1.20	Arcilla Arenosa con Fragmento de Grava Color Cafè	A-2-5 (0)
36	3+500	Izquierda	0.00 - 0.40	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-1-a
			0.40 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Rojizo	A-2-6 (0)
37	3+600	Derecha	0.00 - 0.15	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.15 - 1.20	Arcilla Semi-Arenosa de Color Crema	A-6 (12)
38	3+700	Izquierda	0.00 - 0.13	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.13 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Crema Claro	A-7-5 (12)
39	3+800	Izquierda	0.00 - 0.40	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.40 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Cafè Oscuro	A-7-5 (12)
40	3+900	Derecha	0.00 - 0.10	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.10 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Crema Claro	A-5 (5)
41	4+000	Izquierda	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.30 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Crema Claro	A-7-5 (12)
42	4+100	Izquierda	0.00 - 0.08	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.08 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Crema Claro	A-7-5 (12)
43	4+200	Derecha	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.30 - 1.20	Arcilla Semi-Compacta de Color Cafè	A-7-5 (6)
44	4+300	Izquierda	0.00 - 1.20	Grava con Arcilla de Color Cafè Oscuro	A-2-4 (0)
45	4+400	Izquierda	0.00 - 1.20	Grava con Arcilla de Color Cafè Oscuro	A-2-6 (0)
46	4+500	Derecha	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.20 - 1.20	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-6 (0)
47	4+600	Izquierda	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.20 - 1.20	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-6 (0)
48	4+700	Izquierda	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.20 - 1.20	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-7-5 (12)

SONDEO	ESTACIÒN	BANDA	ESTRATO	DESCRIPCÌON	CLASIFICACIÒN H.R.B
49	4+800	Derecha	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.20 - 1.20	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-7-5 (0)
50	4+900	Izquierda	0.00 - 0.35	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.35 - 1.20	Arcilla de Color Cafè Oscuro	A-7-5 (0)
51	5+000	Izquierda	0.00 - 0.35	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.35 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Oscuro	A-6 (12)
52	5+100	Derecha	0.00 - 0.10	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.10 - 0.40	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-7-5 (12)
			0.40 - 1.20	Arcilla Compacta Color Cafè Oscuro a Rojizo	A-5 (12)
53	5+200	Izquierda	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-1-a
			0.20 - 0.50	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-7 (0)
			0.50 - 1.20	Arcilla Compacta Color Cafè Oscuro	A-7-5 (12)
54	5+300	Izquierda	0.00 - 0.15	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-1-a
			0.15 - 0.65	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-7 (0)
			0.65 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Verde Claro	A-7-5 (12)
55	5+400	Derecha	0.00 - 0.30	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.30 - 1.20	Arcilla con Fragmentos de Grava Color Cafè	A-2-6 (0)
56	5+500	Izquierda	0.00 - 0.25	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.25 - 0.65	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.65 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Crema	A-2-7 (0)
57	5+600	Izquierda	0.00 - 0.40	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.40 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Cafè	A-2-7 (0)
58	5+700	Derecha	0.00 - 0.50	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.50 - 1.20	Arcilla Suelta Color Cafè	A-2-7 (0)
59	5+800	Izquierda	0.00 - 0.40	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.40 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Cafè Claro	A-5 (0)
60	5+900	Izquierda	0.00 - 0.10	Grava con Arcilla Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.10 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Cafè Claro	A-5 (0)
61	6+000	Derecha	0.00 - 0.85	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.85 - 1.20	Limo Plàstico de Color Blanco Hueso	A-5 (0)
62	6+100	Izquierda	0.00 - 0.85	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.85 - 1.20	Arcilla con Grava de Color Cafè	A-7-5
63	6+200	Izquierda	0.00 - 0.60	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.60 - 1.20	Limo Plàstico de Color Cafè Claro	A-5 (0)
64	6+300	Derecha	0.00 - 0.10	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.10 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Crema	A-5 (0)
65	6+400	Izquierda	0.00 - 0.25	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.25 - 1.20	Arcilla Suelta de Color Cafè Claro a Crema	A-7-5 (0)
66	6+500	Izquierda	0.00 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Crema	A-2-4 (0)
67	6+600	Derecha	0.00 - 0.20	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-4 (0)
			0.20 - 1.20	Arcilla Compacta de Color Crema	A-7-5 (0)
68	6+700	Izquierda	0.00 - 0.15	Grava con Arcilla de Color Cafè	A-2-6 (0)
			0.15 - 1.20	Grava con Arcilla de Color Crema Claro	A-2-6 (0)

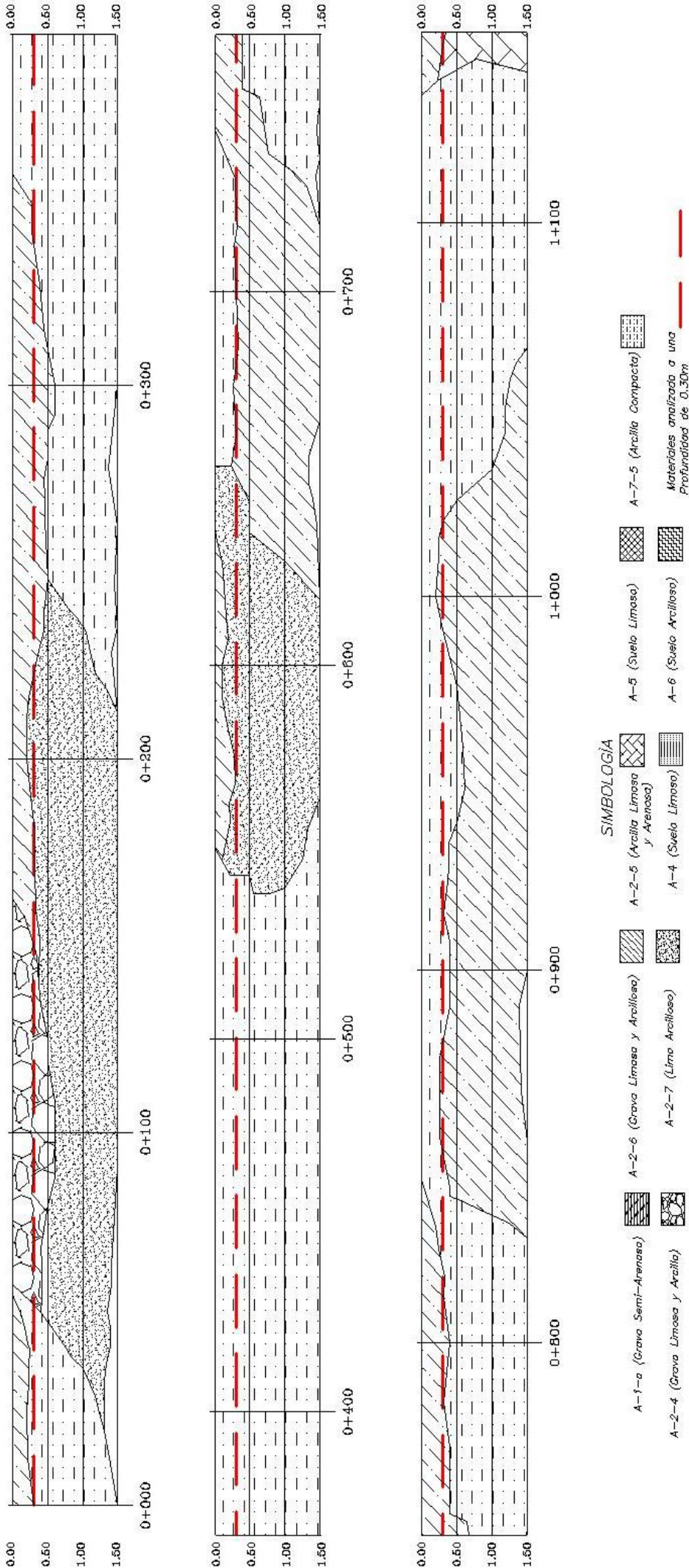
Fuente consultores AYESTAS

Figura 9. Perfil Estratigráfico sobre la línea central de la carretera

AYESTAS INGENIEROS CONSULTORES

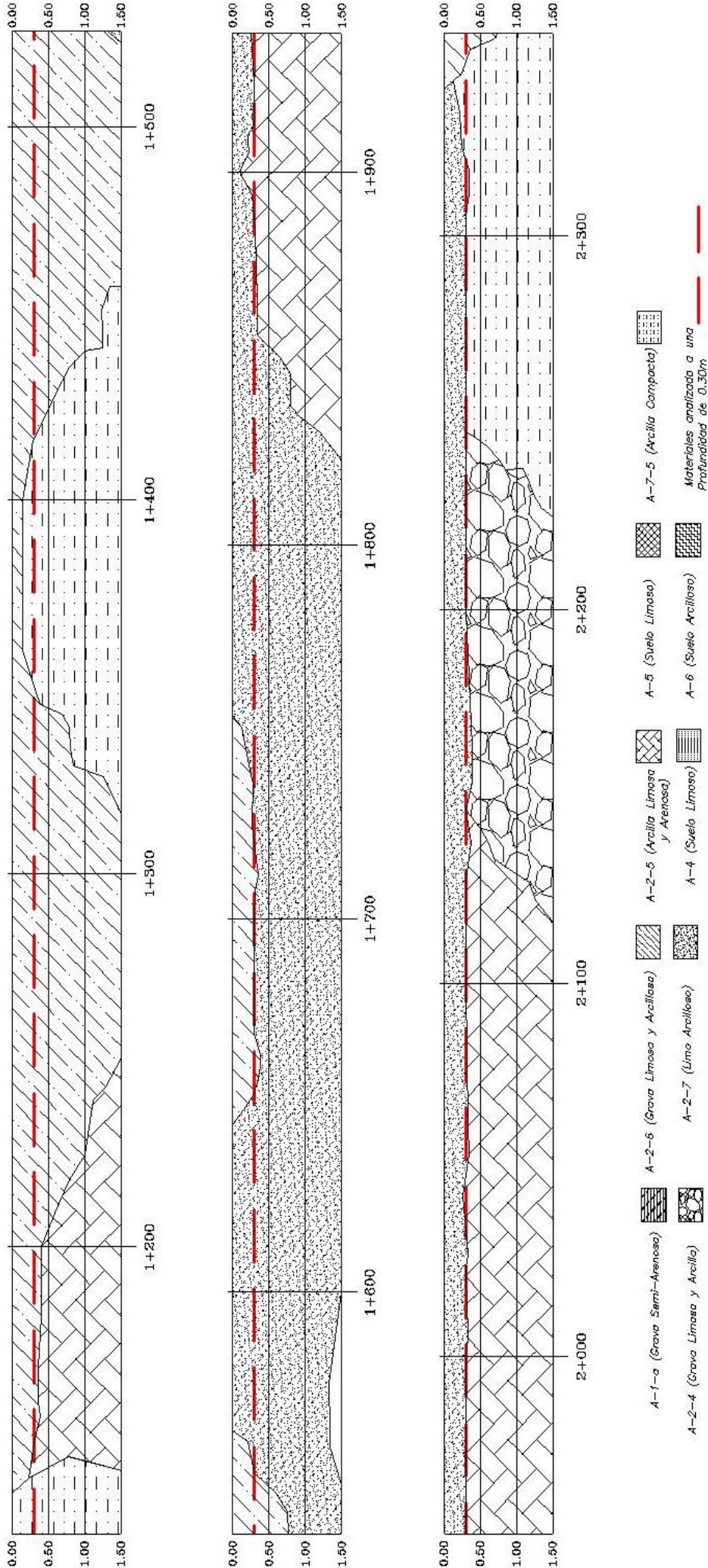


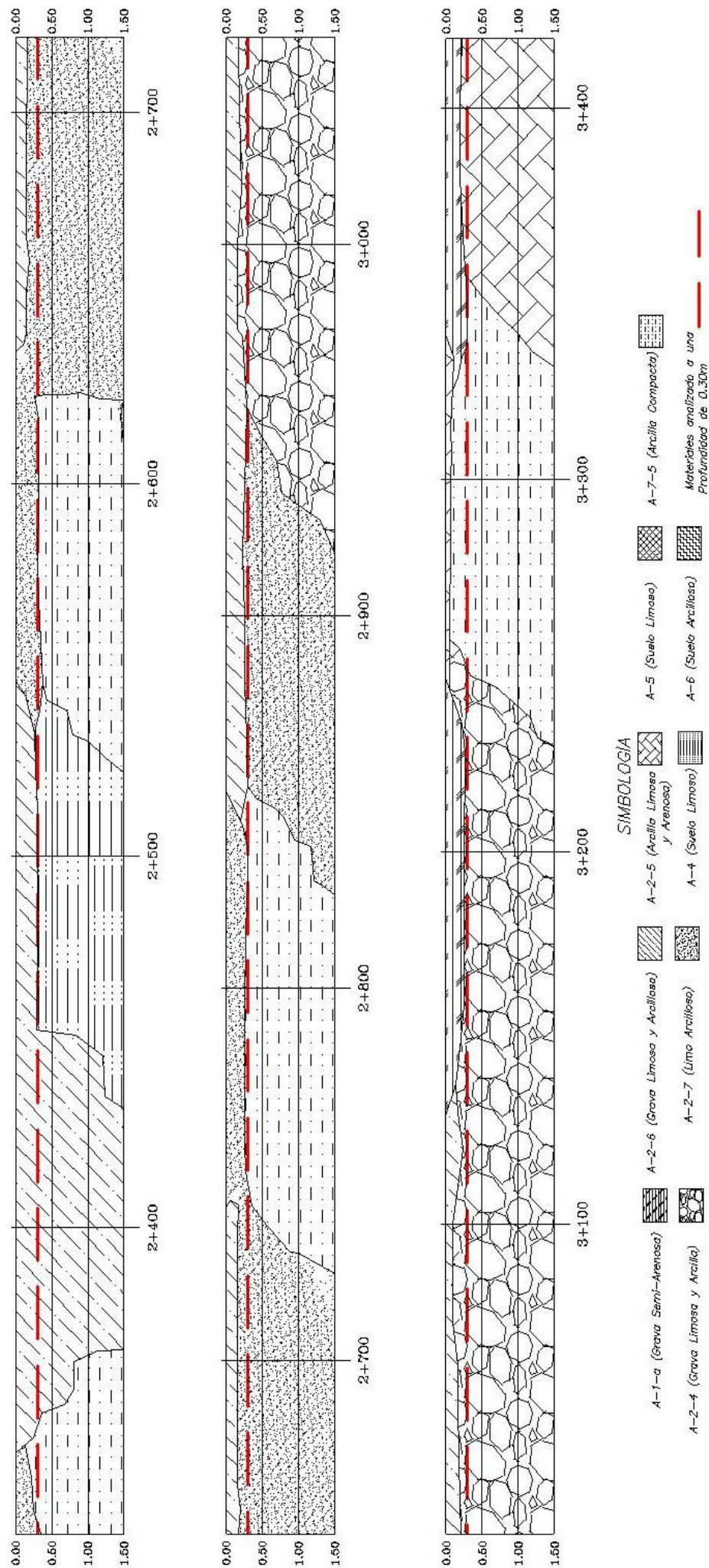
TRAMO: CUYALI - MIRALAGOS
PERFIL ESTRATIGRÁFICO SOBRE LINEA CENTRAL DE CARRETERA



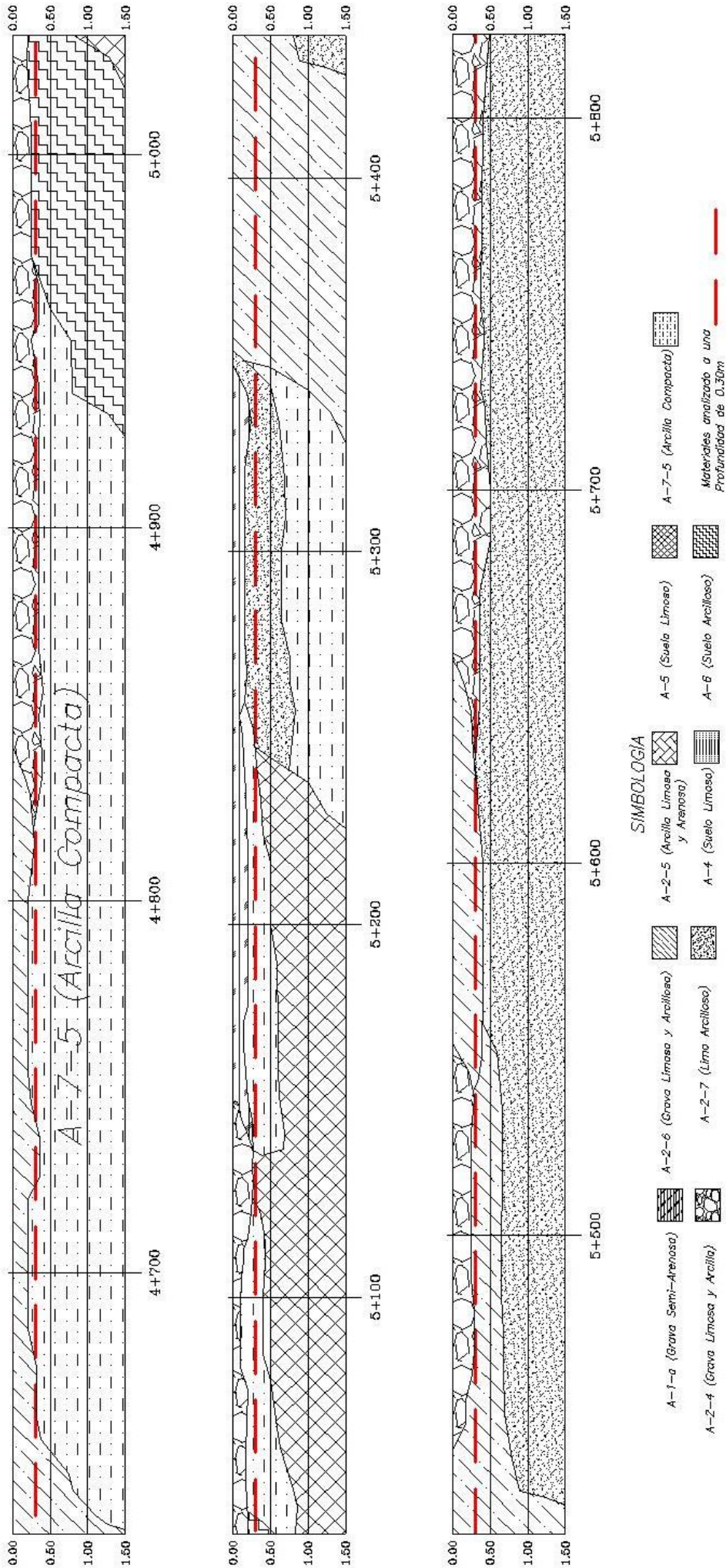
TRAMO: CUYALÍ - MIRALAGOS

PERFIL ESTRATIGRÁFICO SOBRE LINEA CENTRAL DE CARRETERA





TRAMO: CUYALÍ - MIRALAGOS
PERFIL ESTRATIGRÁFICO SOBRE LINEA CENTRAL DE CARRETERA



TRAMO: CUYALÍ - MIRALAGOS
PERFIL ESTRATIGRÁFICO SOBRE LINEA CENTRAL DE CARRETERA

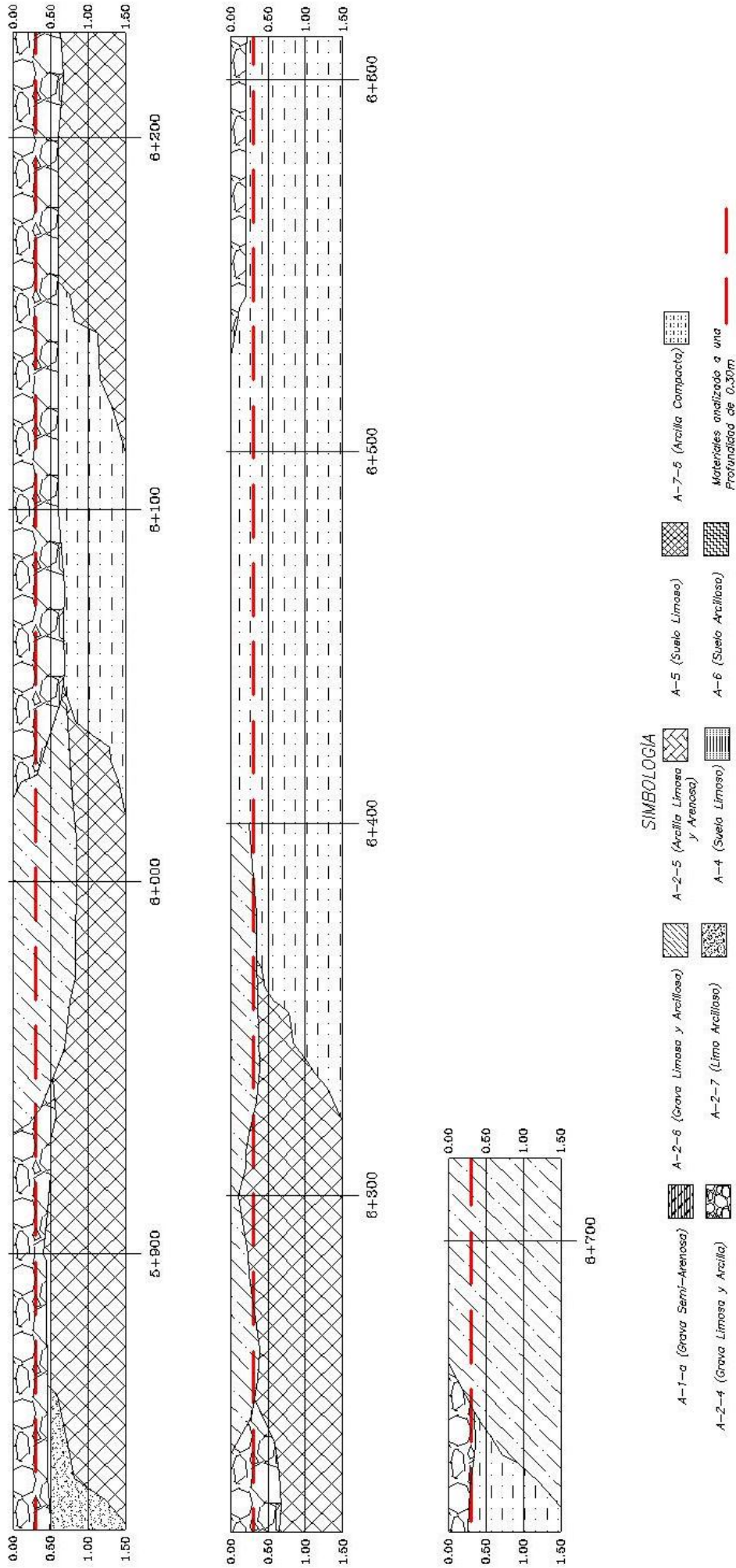


FIGURA 10. Resultados de Ensayes del Banco Santa Rosa.

AYESTAS
INGENIEROS CONSULTORES

RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES EN BANCOS DE PRESTAMOS

PROYECTO: Cayali - Mirabogós
 TRAMO: STA. Rosa FECHA: Abril
 NOMBRE DEL BANCO: 3TA. Gertrudis
 BICACION/LOCALIZACION: 3TA. Gertrudis
 NOMBRE DEL DUEÑO:

ENSAYE No.	1		
SONDEO No.	1		
MUESTRA No.	1		
ESTACION No.	7+420		
DESVIACION No.			
PROFUNDIDAD MTS.			
FECHA DE MUESTREO	Marzo		

GRANULOMETRIA

% QUE PASA POR TAMIZ			
3"			
2"	90		
1 1/2"	79		
1"	65		
3/4"	54		
3/8"	34		
Nº. 4	20		
Nº. 10	14		
Nº. 40(A)	9		
Nº. 200(B)	6		
RELACION DE FINOS (B)/(A)	0.66		

LIMITES DE ATTERBERG

LIMITE LIQUIDO	39		
INDICE DE PLASTICIDAD	8		
CONTRACCION LINEAL			

CLASIFICACION


CLASIFICACION H.R.B	A-2-4(6)		
CLASIFICACION DE CASA GRANDE			
% C.B.R APROXIMADO (REDUCIDO)			

ENSAYES ADICIONALES

P.V.S.S. Kg/m3	7593		
P.V.S.C. Kg/m3	71814		
P.V.S. MAX. Kg/m3			
HUMEDAD OPTIMA %	7.9		
PROCTOR ESTANDAR	41070		
PROCTOR MODIFICADO			
FACTOR DE ABUNDAMIENTO			

OBSERVACIONES:

DESCRIPCIÓN: grueles y arena limosa y arcillosa
color gris.



FUENTE: Consultores AYESTAS.

FIGURA 11. Resultados de Ensayes del Banco San José de la Montaña.

AYESTAS
INGENIEROS CONSULTORES

RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES EN BANCOS DE PRESTAMOS

PROYECTO: Cuiceli Minilogías
 TRAMO: San José la Montaña FECHA: Abil
 BICACION/LOCALIZACION: Comarca Venecia Nº DEL BANCO:
 NOMBRE DEL DUENO:

ENSAYE No.	1			
SONDEO No.	7			
MUESTRA No.	7			
ESTACION No.	7+400			
DESVIACION No.				
PROFUNDIDAD MTS.				
FECHA DE MUESTREO	Uluato			

GRANULOMETRIA

% QUE PASA POR TAMIZ				
3"				
2"	100			
1 1/2"	98			
1"				
3/4"	72			
3/8"				
Nº. 4	41			
Nº. 10				
Nº. 40(A)	12			
Nº. 200(B)	512			
RELACION DE FINOS (B)/(A)				

LIMITES DE ATTERBERG

LIMITE LIQUIDO	NP			
INDICE DE PLASTICIDAD	NP			
CONTRACCION LINEAL				


CLASIFICACION

CLASIFICACION H.R.B	A-7-bcl			
CLASIFICACION DE CASA GRANDE				
% C.B.R. APROXIMADO (REDUCIDO)				

ENSAYES ADICIONALES

P.V.S.S. Kg/m3	71520			
P.V.S.C. Kg/m3	71650			
P.V.S. MAX Kg/m3				
HUMEDAD OPTIMA %	11.3			
PROCTOR ESTANDAR				
PROCTOR MODIFICADO	71980			
FACTOR DE ABUNDAMIENTO				

OBSERVACIONES:
 Desap/mul: gruba de color gris.



FUENTE: Consultores AYESTAS.

Tabla 23
Clasificación de los materiales para el análisis del CBR a una profundidad 0.30m.

MUESTRA	ESTACIÓN	CLASIFICACIÓN H.R.B	CBR 95%	MUESTRA	ESTACIÓN	CLASIFICACIÓN H.R.B	CBR 95%
M-1	3+500	A-1-a	32	M-4	1+900	A-2-5 (0)	21
M-2	0+000	A-2-6 (0)	24		2+100	A-2-5 (0)	
	0+300	A-2-6 (0)			3+400	A-2-5 (0)	
	0+800	A-2-6 (0)		M-5	0+400	A-2-7 (0)	15
	1+000	A-2-6 (0)			0+500	A-2-7 (0)	
	1+200	A-2-6 (0)			0+700	A-2-7 (0)	
	1+300	A-2-6 (0)			0+900	A-2-7 (0)	
	1+500	A-2-6 (0)			1+100	A-2-7 (0)	
	2+400	A-2-6 (0)			1+400	A-2-7 (0)	
	2+500	A-2-6 (0)			2+800	A-2-7 (0)	
	3+800	A-2-6 (0)			3+100	A-2-7 (0)	
	4+000	A-2-6 (0)			3+300	A-2-7 (0)	
	4+200	A-2-6 (0)			3+600	A-2-7 (0)	
	4+400	A-2-6 (0)			3+700	A-2-7 (0)	
	4+500	A-2-6 (0)			3+900	A-2-7 (0)	
	4+600	A-2-6 (0)			4+100	A-2-7 (0)	
	5+400	A-2-6 (0)			4+700	A-2-7 (0)	
	5+500	A-2-6 (0)			4+800	A-2-7 (0)	
	5+800	A-2-6 (0)			5+100	A-2-7 (0)	
	6+000	A-2-6 (0)			5+900	A-2-7 (0)	
	6+700	A-2-6 (0)			6+300	A-2-7 (0)	
M-3	0+100	A-2-7 (0)	22		6+400	A-2-7 (0)	
	0+200	A-2-7 (0)			6+600	A-2-7 (0)	
	0+600	A-2-7 (0)					
	1+600	A-2-7 (0)					
	1+700	A-2-7 (0)					
	1+800	A-2-7 (0)					
	2+000	A-2-7 (0)					
	2+200	A-2-7 (0)					
	2+300	A-2-7 (0)					
	2+600	A-2-7 (0)					
	2+700	A-2-7 (0)					
	2+900	A-2-7 (0)					
	3+000	A-2-4 (0)					
	3+200	A-2-4 (0)					
	4+300	A-2-4 (0)					
	4+900	A-2-4 (0)					
	5+000	A-2-4 (0)					
	5+200	A-2-7 (0)					
	5+300	A-2-7 (0)					
	5+600	A-2-4 (0)					
	5+700	A-2-4 (0)					
	6+100	A-2-4 (0)					
	6+200	A-2-4 (0)					
	6+500	A-2-4 (0)					

Fuente consultores AYESTAS, Análisis

Fuente consultores AYESTAS, Análisis

Figura 12 UBICACIÓN DE BANCO DE MATERIAL A LO LARGO DE LA LINEA



Fuente: Elaboración propia, programa Google Earth

Tabla 24 Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes sencillos.

Appendix D

D-3

Table D.1. Axle Load Equivalency Factors for Flexible Pavements, Single Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)						
	1	2	3	4	5	6	
2.2	2	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	0.00038
4.4	4	.002	.003	.002	.002	.002	0.00340
8.8	6	.009	.012	.011	.010	.009	0.05020
11	8	.030	.035	.036	.033	.031	0.12650
11	10	.075	.085	.090	.085	.079	0.12650
17.6	12	.165	.177	.189	.183	.174	0.12650
	14	.325	.338	.354	.350	.338	0.12650
	16	.589	.598	.613	.612	.603	0.12650
	18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92060
	20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	0.92060
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41	
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51	
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96	
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83	
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2	
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1	
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6	
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9	
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1	
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2	
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5	
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1	
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0	
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6	
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.	

Fuente: AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, apéndice D, Pago D-3

Tabla 25 Factores de Ejes Estándar Equivalentes de Carga para pavimento Flexible, ejes dobles.

D-4 *Design of Pavement Structures*

Table D.2. Axle Load Equivalency Factors For Flexible Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.0

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, apéndice D, Pag. D-4

Tabla 26 Niveles de Confiabilidad

Tipo de Camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona rural
Ruta interestatales y autopista	85 - 99.99	85 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80-95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, sección 2.1.3, pág. II-9

Tabla 27
Rangos Desviación Estándar

Rango	Uso
0.30 - 0.40	Pavimento Rígido
0.40 - 0.50	Pavimento Flexible

Fuente: AASHTO Guía para diseño de estructuras de pavimento 1993, punto 4.3 (3), pág. I-62

Tabla 28
Estabilidad de Marshall

Nº. Ejes Equivalentes (ESAL Diseño)	Estabilidad de Marshall
$< 10^4$	750
$10^4 - 10^5$	1,200
$>10^5$	1,800

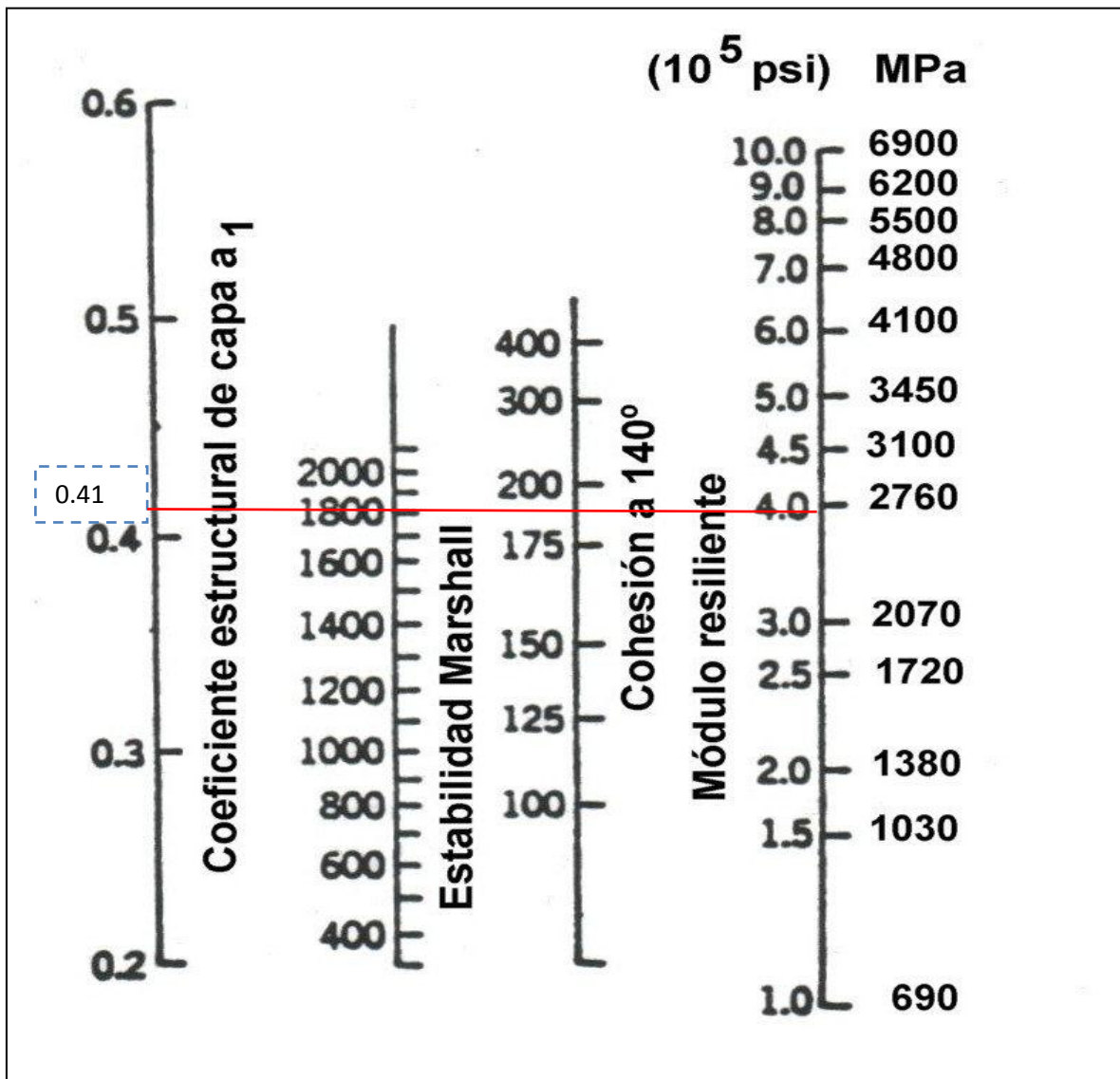
Fuente: Asphalt Institute, serie de Manuales, No. 22 (MS-22)

Tabla 29
CLASIFICACIÓN SEGÚN CBR

CBR (%)	CLASIFICACION
0-5	Subrasante muy mala
6-10	Subrasante mala
11-20	Subrasante regular o buena
21-30	Subrasante muy buena
31-50	Subbase buena
51-80	Base Buena
81-100	Base muy buena (excelente)

Fuente: Mecánica de Suelos para Obras Viales. Dr. Ing. Oscar Gutiérrez

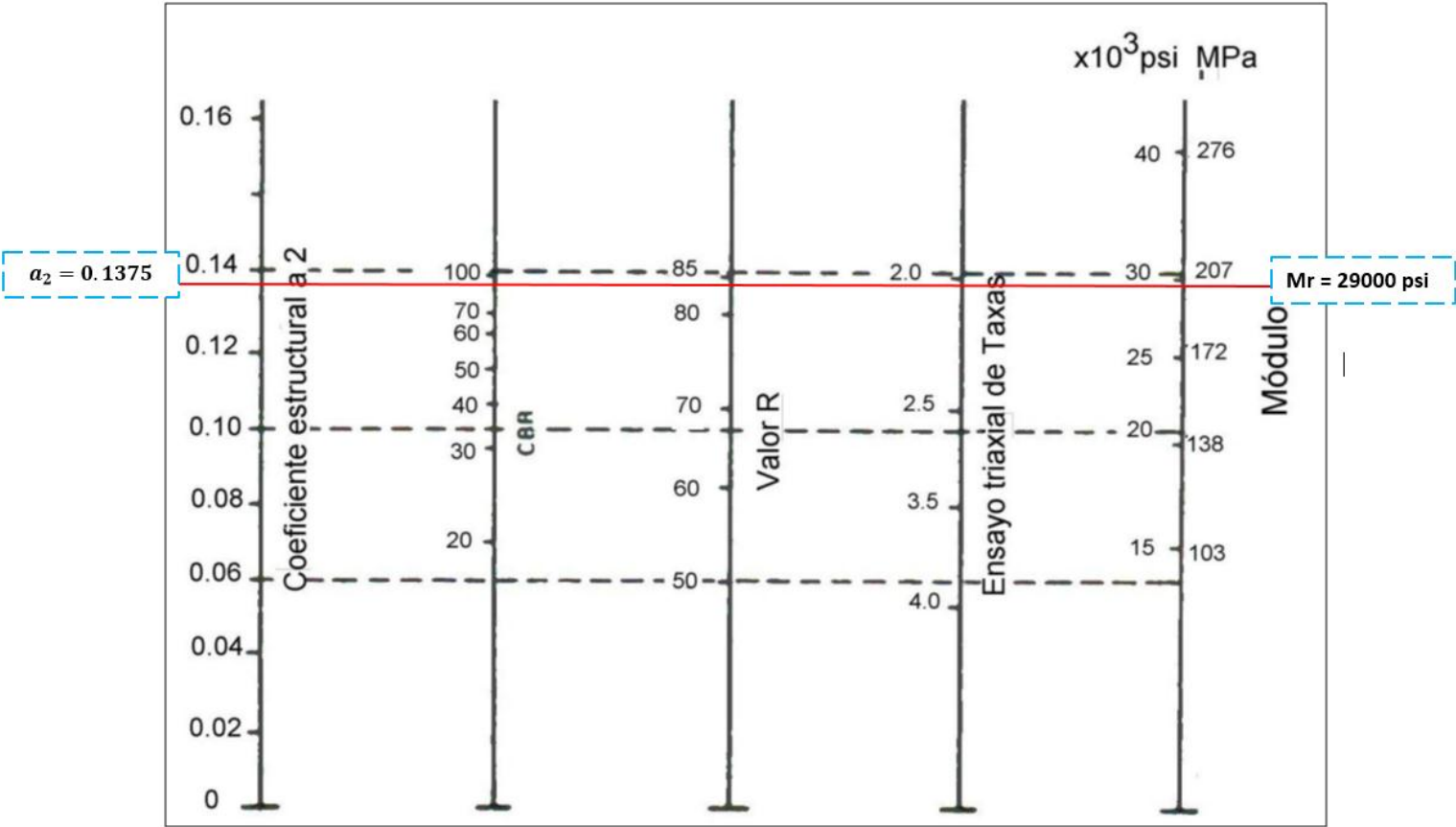
Figura 13 Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_1 para la carpeta asfáltica



Fuente: (ASSHTO-93) Requerimientos de diseño.

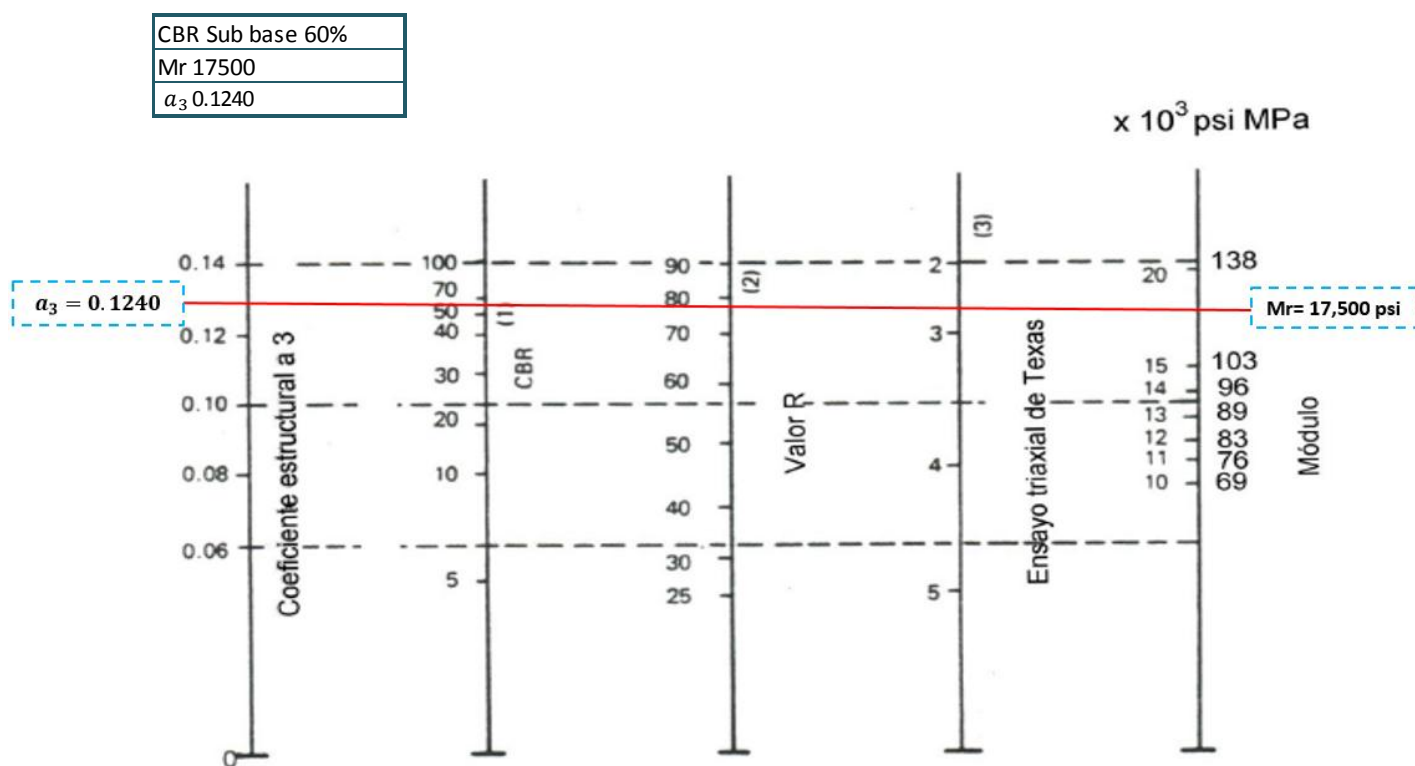
Figura 14 Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_2 para la capa base material granular

CBR Base 95%
Mr 29000 PSI
$a_2 = 0.1370$



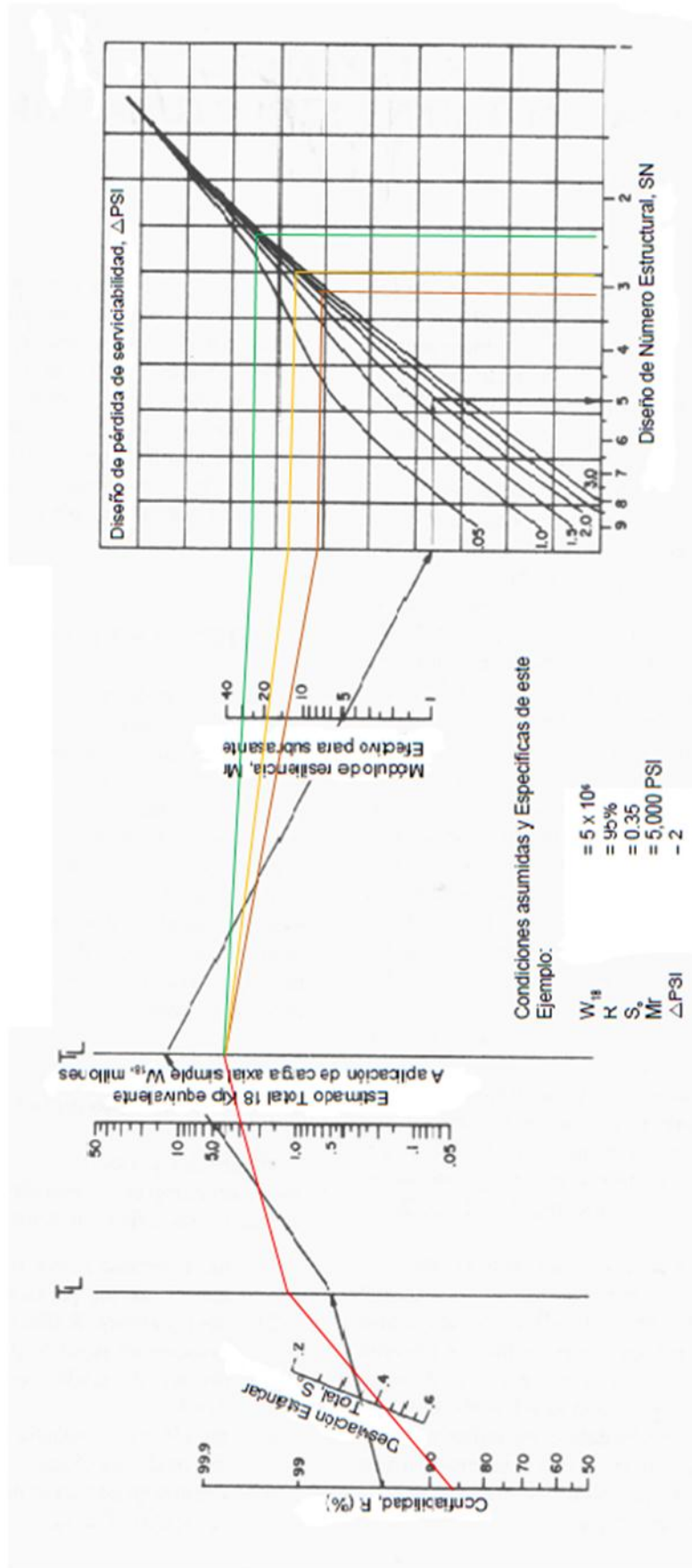
Fuente: ASSHTO-93, sección 2.3.5: Coeficiente de capas, pág. II.19, fig. 2.6

Figura 15 Nomograma para estimar el coeficiente estructural a_3 para una capa sub-base material granular



Fuente: ASSHTO-93, sección 2.3.5: Coeficiente de capas, pág. II.21, fig. 2.7

Figura 16
Nomograma para calcular
Diseño de Numero Estructural.



Sub-rasante $SN_3: 3.22$

Sub-base $SN_2: 2.85$

Base $SN_1: 3.22$

Tabla 30
Coeficiente de Drenaje para pavimentos Flexibles

Calidad de Drenaje	% de Tiempo en que el pavimento está expuesto a Niveles de humedad próximo a la saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: ASSHTO 1993, Características estructurales de Pavimento, Capítulo 2, Parte II, pág. II.25

Tabla 31
Espesores mínimos de concreto Asfáltico y Base Granular

Numero de ESAL	Concreto Asfáltico	Base Granular
Meno de 50,000	2.50 cm	10 cm
50,001 - 15,000	5.00 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.50 cm	10 cm
500,001 - 2,000,000	7.50 cm	15 cm
2,000,001 - 7,000,000	9.00 cm	15 cm
mas de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: ASSHTO-93, Selección de espesores mínimos, sección 3.1.4, pág. II.35

Tabla 32

CUADRO 1003-3

**Margenes del Valor Meta para Graduacion de Subbase, Base o Capas
Superficies de Agregados**

Tamaños del Tamiz	Porcentaje en Peso que pasa el Tamiz Designado (AASHTO T-27 y T-11)					
	Designacion de la Graduacion					
	A (Subbase)	B (Subbase)	C (Base)	D (Base)	E (Base)	F (Superficie)
63.0 mm	100					
50.0 mm	97 - 100	100	100			
37.5 mm		97 - 100	97 - 100	100		
25.0 mm	65 - 79(6)			97 - 100	100	100
19.0 mm			67 - 81(6)		97 - 100	97 - 100
12.5 mm	45 - 59(7)					
9.5 mm				56 - 70(7)	67 - 79(6)	
4.75 mm	28 - 42(6)	40 - 60(8)	33 - 47(6)	39 - 53(6)	47 - 59(7)	41 - 71(7)
425 um	9 - 17 (14)		10 - 19(4)	12 - 21(4)	13 - 21(4)	12 - 28(5)
75 um	4.0 - 8.0(3)	0.0 - 12.0(4)	4.0 - 8.0(3)	4.0 - 8.0(3)	4.0 - 8.0(3)	9 - 16(4)

Fuente NIC-200. CUADRO 1003-3

Contenido

Introducción	3
Antecedentes	4
Justificación	5
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
Marco Teórico	7
Conceptos a considerar en la aplicación Estudio de Suelos	7
Ensayes de laboratorio	7
Análisis Granulométrico	8
Límite Líquido	8
Límite Plástico	8
Índice de plasticidad	8
Contenido de Humedad.....	8
Peso específico	9
Ensayo de compactación.....	9
Máxima densidad	9
Optimo contenido	9
Determinación de la resistencia de los Suelos.....	9
Clasificación de los Suelos	10
Estudio de Tránsito.....	11
Tránsito de diseño	11
Tránsito Promedio Diario (TPD).....	12
Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	12
Carga máxima	12

Volumen de Tránsito	12
Diseño de Pavimento.....	13
Pavimento:	13
Clasificación de los pavimentos	14
Funciones de las capas de un pavimento flexible:	14
Factores a considerar en el diseño de pavimentos	15
Método AASHTO-93 para el diseño de pavimento flexible	16
Criterios de comportamiento	16
Determinación del número estructural (SN)	18
Diseño Metodológico.....	21
Estudio de suelos	21
Estudio de tránsito	21
Diseño de Pavimento.....	21
Cronograma de Trabajo.	22
Bibliografía	23
Anexos.....	24

Introducción

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de desplazamiento de viajeros y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades y al fortalecer la integración de los países, las carreteras han sido indispensables en el desarrollo de diversas actividades y regiones en todo el mundo.

La construcción de carreteras apunta en principio a la erradicación de la pobreza elevando los niveles de salud y de educación de la población y la generación de empleo.

El Gobierno de Nicaragua, como una forma de coadyuvar el desarrollo de la Región Norte del País, de gran importancia en los rubros de Café y Ganadería, ha decidido realizar el mejoramiento de la Carretera Miralagos – Cuyalí de 6.76 km de longitud, a fin de permitir el acceso directo a centros con un alto potencial de producción agropecuario, impulsando así el desarrollo socio económico de la región y del país. Así mismo para reducir los costos de viaje en que incurren actualmente los usuarios de la misma, garantizar la transitabilidad en la zona dado que esta carretera une Jinotega con los municipios de Pantasma, Wiwilí y el Cuá, además de contribuir a la reducción de la pobreza de la población dentro del área de influencia del proyecto.

La presente tesina de investigación consistirá en el Diseño de la estructura de pavimento flexible del tramo de carretera Miralagos-Cuyalí de 6.76 Km de longitud.

El tramo que se diseñará, se encuentra localizado en La carretera Miralagos – Cuyalí en el municipio y departamento de Jinotega, a 15 km de distancia de la cabecera municipal.

Tiene su origen en Miralagos, específicamente en el caserío de Santa Clara, al final de la carretera pavimentada, pasando por las comarcas Lipululo, Los Robles, San Pedro de Buculmay y finaliza en Cuyalí, con una longitud de 6.76 km

La investigación aborda análisis de estudios de suelos, estudios de Tránsito y finalmente el diseño de pavimento flexible para el tramo de 6.76 km a partir del poblado de Miralagos y culmina en el poblado de Cuyalí. Para realizar el

análisis de estos estudios se necesitará conocer el tipo de suelo que tiene la capa de rodamiento actual del tramo en estudio, ubicar los bancos de materiales más cercanos al sitio, proyectar el tránsito para la vida útil del tramo de acuerdo a la tasa de crecimiento, calculando en base a estos datos los espesores del pavimento.

Antecedentes

De acuerdo a la clasificación funcional de carreteras del MTI, la carretera en estudio se clasifica como Colectora Principal y se identifica como parte de la NIC-43. El terreno predominante va de ondulado a montañoso con pendientes entre el 8% y el 17%. La sección de derecho de vía está limitada por las cercas existentes que varía entre 17 y 22 metros de ancho y el ancho de rodamiento varía entre 6 a 8 metros.

La superficie de rodamiento es de material granular, la cual se encuentra en mal estado, los daños más visibles son baches, huellas en formas de surcos y erosiones de talud. El estado de deterioro de la carretera dificulta a los productores sacar sus cosechas para poder comercializarlas en los mercados locales o para llevarlos a los centros de acopio, lo cual indudablemente les produce pérdidas.

El drenaje transversal está conformado por alcantarillas de concreto reforzado con diámetros variables entre 30" a 72", sin embargo estas se encuentran en mal estado o son hidráulicamente ineficientes.

Carece de señalización adecuada y de infraestructura peatonal. Para el año 2011 de acuerdo a información oficial brindada por la División de Administración Vial del Ministerio de Transporte e Infraestructura presenta un IRI de 14.1 m/km, lo que corresponde a la condición de mal estado. La erosión y las lluvias en el invierno dificultan el acceso a la carretera, existen cruces de corriente de aguas en donde no existen obras de drenaje.

Justificación

La agricultura y la ganadería son las principales actividades económicas de la zona. Hay un sector agrícola importante, el café, producto que se comercializa dentro y fuera del país, y un sector de productores que se dedican a la siembra de granos básicos, los cuales principalmente son comercializados en las propias comunidades y en la ciudad de Managua.

Entre las comunidades localizadas en el área de influencia directa del tramo están: Las Trincheras, Llano La Cruz, Santa Clara, Lipululo, Pueblo Nuevo, Los Robles y Cuyalí, así también se considera a todo el municipio de Jinotega, incluyendo zonas urbanas y rurales como área de influencia indirecta.

Con el mejoramiento de la carretera Miralagos – Cuyalí de 6.67 Km, se reducirán los niveles de pobreza de la población beneficiada y generará empleos durante la ejecución del proyecto.

Se mejorará la Red Vial de la Región de tal manera que se promueva y garantice la salida de la producción agropecuaria y el acceso a las comunidades aledañas al proyecto, contribuyendo de esta manera a promover y fortalecer el desarrollo socioeconómico de la zona de influencia.

Permitirá que la población asentada en todo el tramo tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando el nivel de vida de la población, posibilitando la apertura de nuevos centros de empleo y mayores posibilidades de intercambiar y comercializar sus productos con las principales ciudades del país, reduciendo las pérdidas a los productores por el mal estado de la carretera.

Se reducirán los costos de viaje en que incurren actualmente los usuarios de la misma, garantizando la transitabilidad en la zona dado que esta carretera une Jinotega con los municipios de Pantasma, Wiwilí y el Cuá.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar los espesores de la estructura de pavimento flexible para el tramo de 6.67 km de carretera Miralagos - Cuyalí, por el método AASHTO – 93.

Objetivos Específicos

- Conocer las características físico-mecánicas del subsuelo a lo largo del tramo y de los bancos de materiales aledaños a la zona, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio realizados.
- Analizar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo en estudio para el año base y proyectarlo para la vida útil del proyecto.
- Determinar espesores de la estructura del pavimento tomando en cuenta las características mecánicas del suelo a lo largo de la línea y de los bancos de materiales, así como el tránsito de diseño.

Marco Teórico

Conceptos a considerar en la aplicación Estudio de Suelos

De manera general puede decirse que La Geotecnia es una ciencia, de la que forma parte la Mecánica de Suelos, que estudia el comportamiento de los suelos, sus técnicas se aplican a casi todas las ramas de la Ingeniería Civil:

Estructuras.- Se aplica al diseño de fundaciones en general.

Hidráulica.- En el diseño de Obras Hidráulicas (canales, presas, reservorios de almacenamiento, etc.), hidráulica de ríos, puertos, etc.

Sanitaria.- Diseño de redes de alcantarillado sanitario y pluvial (zanjas, entibamientos), Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (estudio del suelo del lecho, permeabilidad de los estratos), diseño de rellenos sanitarios, etc.

Medio ambiente.- Estudios para conocer el grado de contaminación del subsuelo, permeabilidad de los estratos para conocer la velocidad de difusión de contaminantes, etc.

Carreteras.- Estudios geotécnicos de suelo en general de toda el área donde se pretende construir la carretera, estabilidad de taludes, compactación de suelos, etc

Como es posible apreciar la Geotecnia se aplica en una amplia variedad de tópicos. En casos como la construcción de carreteras los estudios geotécnicos resultan imprescindibles.

Ensayes de laboratorio

Los ensayes de laboratorio son utilizados para caracterizar a los suelos encontrados en las áreas o sitios de estudio, por lo que con el objeto de determinar las propiedades físicas de cada suelo muestreado, es necesario efectuar varias pruebas, las que se detallan a continuación con su Norma correspondiente de la AASHTO y/o ASTM.

Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

Límite Líquido

El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El Límite líquido, de un suelo plástico, indica el contenido de agua para el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 2.5 g/cm².

Límite Plástico

El límite plástico es la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. Para contenidos de humedad mayores que el Límite Plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo.

Índice de plasticidad

El Índice de plasticidad es la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico o Índice el grado de contenido de humedad en el cual el suelo permanece en estado plástico antes de cambiar el Estado Líquido.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad es la relación del peso del agua y el peso seco, de un suelo. El conocimiento de la humedad natural de un suelo permite estimar su posible comportamiento, como subrasante ya que si dicho contenido de humedad esta próximo al Limite Líquido es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo que perderá buena parte de su resistencia original al ser alterado por el equipo de movimiento de tierras; por el contrario si el contenido de humedad es cercano al Límite Plástico en la época más humedad del año, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

Peso específico

Se define como peso específico de un suelo a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desaloje.

El valor del peso específico, queda expresado por un número abstracto, además de servir para fines de clasificación, determinación de la densidad de equilibrio de un suelo y corrección de la densidad en el terreno por la presencia de partículas de agregado grueso, interviene en la mayor parte de los cálculos de mecánica de suelos.

Ensayo de compactación

Se entiende por compactación a todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable. Para efecto del control de la compactación, es necesario efectuar pruebas que permiten conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de los diferentes tipos de suelos.

Máxima densidad

Es el máximo peso seco obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.

Óptimo contenido

Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.

Determinación de la resistencia de los Suelos

El ensaye de resistencia más utilizado en nuestro medio es el CBR (Relación California de Soporte) AASHTO T-193 (ASTM D-1883), para caracterizar el valor soporte de los suelos como material de fundación de carreteras o para ser utilizados como material de sub-base o base. El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y

humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida). El ensaye de Corte Directo es otro ensaye que mide el esfuerzo cortante de los suelos y permite obtener los parámetros de Angulo de Fricción (ϕ) y Cohesión (c), parámetros utilizados en el cálculo de estabilidad de taludes y en el caso de cimentaciones para el cálculo de capacidad de carga de los suelos.

Clasificación de los Suelos

La medida de algunas propiedades de los suelos puede ser difícil, costosa y tomar mucho tiempo. En muchos proyectos de suelos, no se disponen de expresiones matemáticas para analizar la solución numéricamente, por esta razón es muy útil dividir el suelo en grupos y subgrupos con similares propiedades que a su vez indican un comportamiento ingenieril semejante, esta agrupación se denomina clasificación de suelos.

Los sistemas de clasificación facilitan un lenguaje común para expresar características del suelo, que son infinitamente variables, sin presentar una descripción detallada. Muchos de los sistemas de clasificación de suelos fueron diseñados por Ingenieros para sus usos y son basados en propiedades como la distribución del tamaño de grano y la plasticidad; sin embargo se debe ser precavido al usarlas, la solución de problemas de suelos a partir únicamente de la clasificación puede conducir a resultados desastrosos, por eso se deben considerar como una guía para predecir un comportamiento y no excluye la realización de determinados ensayos de laboratorio.

-Actualmente los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos en estudio para diseños de los pavimentos de carreteras y aeropistas son:

- American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO) ó Highway Research Board (HRB)
- Unified Soils Clasification System conocido como Sistema Unificado de Clasificación de suelos SUCS.

Estudio de Tránsito

“El tránsito es la variable más importante en el diseño de pavimentos”. Así comienza el Profesor Yang H. Huang, de la Universidad de Kentucky, el Capítulo dedicado a este tema en su libro “Análisis y Diseño de Pavimentos”.

Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de estos vehículos causarán sobre el pavimento, por lo cual se debe conocer el número y tipo de vehículos que circularán por una vía, así como la intensidad de la carga y la configuración del eje que la aplica.

A continuación se presentan una serie de definiciones de términos referentes a los vehículos y cargas que se sirven de una vía, y que serán empleados en los procesos de diseño de pavimentos

Tránsito de diseño

Es el tránsito total de vehículos que circulará en la estructura de un pavimento durante la vida útil de diseño, tomando en cuenta el factor de crecimiento, factor direccional, factor carril así como el tránsito inicial.

$$TD = T_n * FC * FD * FC'$$

T_n = Tránsito actual “n”.

TD = Tránsito de diseño.

FD = Factor direccional.

FC = Factor de crecimiento.

FC' = Factor Carril.

-Factor de crecimiento

Su valor se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

i: Tasa de Crecimiento (tasa de crecimiento vehicular el cual puede variar en dependencia del tipo de vehículo)

n: Periodo de diseño

-Factor carril

Relación que existe en la distribución del tráfico cuando dos o más carriles son usados en una sola dirección.

-Factor direccional

Relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor es generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido (según las normas de la AASHTO). La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro.

Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es el número total de vehículos que pasa durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día dividido entre el número de días del periodo.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el número de vehículos que pasa por un lugar dado durante un año dividido entre el número de días del año.

Carga máxima

-La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de carga, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. La anterior consideración, plantea un problema muy complejo que hace necesario recurrir a simplificaciones prácticas.

-Dado que la estimación de daño producido por las diversas cargas por eje es muy compleja, y que la única fuente confiable de información para afrontar este problema es el "AASHTO ROAD TEST", de cuyos resultados se derivaron una serie de factores de equivalencia, la carga tomada como patrón es un eje sencillo 8.2 toneladas.

Volumen de Tránsito

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta

cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL: Ejes de Carga Estándar Equivalentes)

Diseño de Pavimento

Pavimento:

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- ✓ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Debe ser económico.
- ✓ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- ✓ Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, semirrígido, rígidos y articulados. En nuestro caso diseñaremos pavimento flexible, Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

Funciones de las capas de un pavimento flexible:

✓ Subbase granular

Capa de transición: la subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.

Disminución de la deformación: algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

Resistencia: la subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

✓ Base granular

Resistencia: la función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

✓ Carpeta Asfáltica

Superficie de rodadura: la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Resistencia: su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

Impermeabilidad: hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Factores a considerar en el diseño de pavimentos

- ✓ El tránsito: interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. A demás, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.
- ✓ La subrasante: de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que deber tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.
- ✓ El clima: los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de

temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

Método AASHTO-93 para el diseño de pavimento flexible

-El método de Diseño utilizado Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993 que toma en cuenta el Valor Soporte del Suelo, las condiciones de repetición de carga y ambientales en el área del Proyecto.

-El procedimiento es aplicable para vías con tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas, y La ecuación utilizada para el diseño de pavimento flexible, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST es:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Donde:

a_i = Coeficiente estructural de la capa i , el cual depende de la característica del material con que ella se construya.

D_i = Espesor de la capa i , en pulgadas.

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i .

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total (W18), de la serviciabilidad terminal, y de las condiciones ambientales.

Criterios de comportamiento

Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como la idoneidad que tiene el mismo para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar. La mejor forma de evaluarla es a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). La filosofía básica del diseño es el concepto del comportamiento y capacidad de servicio, el cual proporciona un medio para diseñar un pavimento con base en un volumen especificado de

tránsito total y con un nivel mínimo de serviciabilidad deseado al final del periodo de diseño.

Es la diferencia entre la calidad de condición de servicio del pavimento al concluirse su construcción Serviciabilidad Inicial (po) y su condición de servicio al final del periodo de diseño Serviciabilidad Final (pt).

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Propiedades de los materiales

Módulo resiliente de la subrasante (caracterización de los materiales de subrasante)

Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos, se han encontrado una relación entre el MR medido en el campo y el CBR de laboratorio para la misma densidad. $MR (psi) = 1500 \times CBR$, expresión que se considera razonablemente aproximado para suelos finos con un CBR sumergido no mayor de 10.

Características de los materiales del pavimento: la caracterización de las diversas capas del pavimento se efectúa a través de sus módulos de elasticidad, obtenidos por ensayos normalizados de laboratorio.

El uso de la subbase en este método requiere del empleo de un coeficiente de capa (a3) para convertir su espesor en un número estructural (SN), que es el indicativo del espesor total requerido de pavimento.

En relación con la base, esta podrá ser granular o estabilizada y los requisitos de calidad deben ser, superiores a los de subbase. El material estará representado por un coeficiente (a2) que permite convertir su espesor real a su número estructural.

Respecto a la capa de rodadura consistirá en una mezcla de agregados pétreos y un producto bituminoso. La mezcla se deberá diseñar y construir de modo que no solo preste una función estructural sino que además resista a la fuerza abrasiva del tránsito, proporcione una superficie antideslizante uniforme y prevenga la penetración de agua superficial.

Coefficiente de capas: el método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (D_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Determinación del número estructural (SN)

-Para determinar el número estructural SN se usará la ecuación de diseño usando el nomograma de ASSHTO o bien el programa.

La ecuación de diseño recomendada por la AASHTO permite la obtención del número estructural, a partir de los siguientes parámetros:

- ⇒ Tránsito estimado durante el período de diseño (W_{18})
- ⇒ El nivel de confiabilidad (R). Debe recordarse que la aplicación de este nivel implica la utilización de promedios en los datos de entrada.
- ⇒ La desviación estándar (S_o).
- ⇒ El módulo resiliente de la subrasante (M_R)
- ⇒ La pérdida de nivel de servicio durante el período de diseño, $\Delta PSI = P_o - P_t$

Ecuación de diseño

La Ecuación de Diseño para Pavimentos Flexibles corresponde a la Ecuación (1.2.1) descrita en la página I-5, Parte I, de la Guía ASSHTO-93 para el Diseño de Pavimentos y toma la configuración siguiente:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

En donde:

W_{t18} - Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n).

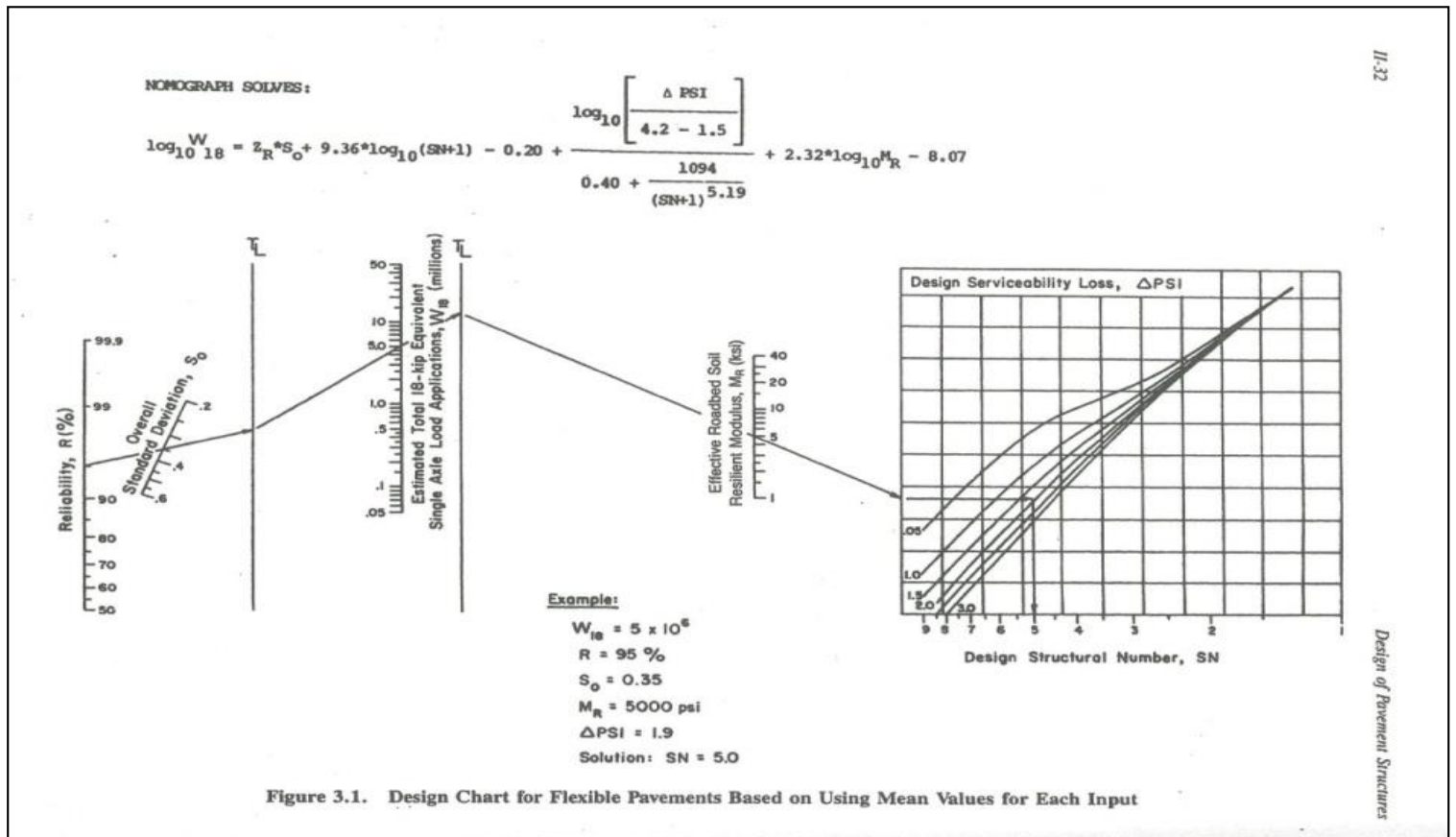
ZR - Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

so- desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

Δ PSI - Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño

MR - Modulo resiliente

Método gráfico o nomograma AASHTO:



Programa (otra alternativa para diseñar)

-La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 tanto en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles nuevos así como en diseño de sobrecarpetas en pavimentos existentes es todavía la técnica más usada para establecer tipos y espesores de capas de pavimentos de carreteras y vías urbanas. Si bien actualmente se están introduciendo métodos mecanicistas, éstos requieren una importante cantidad de información difícil de obtener, además de la necesaria calibración, que demandará todavía varios años para poder ser implementada.

-Existen Software desarrollado que ha sido mejorado y ampliado para contemplar además del diseño de pavimentos nuevos tanto rígidos como flexibles, el diseño de sobrecarpetas en pavimentos existentes.

-El programa contiene las ecuaciones para el cálculo de Ejes Equivalentes, facilitando su cálculo sin necesidad de tablas, también es posible calcular los módulos resilientes y de reacción de la subrasante estacionales.

-Para pavimento flexible, el programa calcula el número estructural, con verificación por capas y también permite especificar espesores. Así mismo este programa genera gráficos de sensibilidad a todas las variables de diseño en función al espesor de losa o número estructural del asfalto.

Diseño Metodológico

Estudio de suelos

Se analizará la información de los estudios de suelos realizados por el Consultor **Ayestas Ingenieros Consultores** en el tramo existente así como de los bancos de materiales que estén cercanos a lo largo de la línea.

Conocer las propiedades físico-mecánicas, igualmente se verificará si estos materiales son aptos para emplearse en las diferentes capas que conformarán la estructura de pavimento (carpeta asfáltica, base, sub-base, subrasante).

Estudio de tránsito

Se analizará información de la recolección de datos de campo de Conteo Vehicular realizado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Se hará análisis de indicadores macroeconómicos como el PIB datos recientes, así como datos de crecimiento de población y el crecimiento del tráfico histórico se obtendrá la tasa de crecimiento vehicular en base a estos datos. Finalmente se proyectará el tránsito hacia los años subsiguientes.

Diseño de Pavimento

Una vez alcanzados los datos de estudios de suelos y de tránsito con el análisis correspondiente, se procederá a diseñar las diferentes capas para pavimento flexible del tramo en estudio. El método que se utilizara será el de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) versión 1993. Al seleccionar estos valores de acuerdo a nuestro criterio, se procede a calcular el número estructural SN, luego se identificará un conjunto

de capas cuyos espesores, convenientemente combinados proporcionen la capacidad portante correspondiente a dicho SN. Al elegir los espesores de las diferentes capas, debe tenerse presente el factor costo, el diseño óptimo económico es aquel que considera un espesor mínimo de base. Con los datos obtenidos se procederá a determinar el espesor permisible para cada capa.

Cronograma de Trabajo.

PREPARACIÓN DE TESINA	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12
ESTUDIO DE SUELOS												
ESTUDIO DE TRANSITO												
DISEÑO DE PAVIMENTO												
REDACCION PRELIMINAR												
REVISION												
REDACCION FINAL												
ENTREGA												

Bibliografía

- Diseño de Pavimento Flexible. Curso de Titulación “Obras Viales”.
Msc. Ing. Israel Morales Urbina.
- Estudio de Transito. Curso de Titulación “Obras Viales”.
Msc. Ing. Bernardo Calvo.
- Guide for Design of Pavements Structure. AASHTO (American
Association of State Highway and Transportation Officials). 1993.
- Ingeniería de Pavimentos para Carreteras
Ing. Alfonso Montejo Fonseca
- Libro de diseño de Pavimento ASSHTO 1993 en español
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos SIECA.
- Mecánica de suelos. Curso de Titulación “Obras Viales”.
Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba.

ANEXOS



